



Ж.Войнова-Райкова, В.Ранков, Г.Ампова

МИКРООРГАНИЗМЫ И ПЛОДОРОДИЕ

МИКРООРГАНИЗМИ И ПЛОДОРОДИЕ

Проф. д-р Живка Войнова-Райкова

Ст. н. с., к. с. н. Васил Ранков

Ст. н. с., к. с. н. Гизда Ампова

Ж.Войнова-Райкова, В.Ранков, Г.Ампова

МИКРООРГАНИЗМЫ И ПЛОДОРОДИЕ

Перевод с болгарского и предисловие
кандидата сельскохозяйственных наук
З.К. БЛАГОВЕЩЕНСКОЙ

Под редакцией
кандидата биологических наук
И.В. ПЛОТНИКОВОЙ



Москва Агропромиздат 1986

ББК 40.3
В 65
УДК 631.452 + 631.461,

Войнова-Райкова Ж. и др.

В 65 Микроорганизмы и плодородие/Ж. Войнова-Райкова, В. Ранков, Г. Ампова; Пер. с болг. и предисл. З.К. Благовещенской; Под ред. И.В. Плотниковой. — М.: Агропромиздат, 1986. — 120 с., ил. 26.

Книга болгарских авторов посвящена вопросам участия микроорганизмов в трансформации органических, минеральных веществ и ксенобиотиков и регулирования их деятельности в целях повышения биологической активности и плодородия почв. Особый интерес представляют разделы, посвященные влиянию пестицидов на микрофлору и процессы в почве.

Для микробиологов, почвоведов, агрохимиков.

В $\frac{3802010000-190}{035(01)-86}$ 106-86

ББК 40.3

© Ж. Войнова-Райкова, В. Ранков, Г. Ампова, 1983
© ВО "Агропромиздат", 1986

ПРЕДИСЛОВИЕ К РУССКОМУ ИЗДАНИЮ

Почва — благоприятная среда для обитания и размножения многих микроорганизмов. Ее минеральный и органический состав, физико-химическое состояние регулируют численность и состав микробиоценозов, в которые входят бактерии, грибы, простейшие и бактериофаги. Содержание микроорганизмов в почве широко колеблется в зависимости от ее химического состава, влажности, температуры, pH и других свойств. В свою очередь, микрофлора оказывает существенное влияние на плодородие почв и играет большую роль в превращении недоступных для растений питательных веществ в усвояемые формы. Направленность вызываемых микроорганизмами процессов может способствовать росту растений или же угнетать его. Поэтому изучение микробиологических процессов, протекающих в почве, создает возможности для их регулирования и, следовательно, для содействия росту урожайности сельскохозяйственных культур.

Интенсивное возделывание культур (севообороты, обработка почвы, мелиорация, внесение минеральных и органических удобрений, пестицидов и ряда других веществ) вызывает те или иные сдвиги в почвенной биодинамике. Их сущность и влияние на свойства и плодородие почвы представляют большой научный интерес и имеют практическое значение.

В связи с этим книга болгарских ученых, посвященная микробиологическим основам повышения плодородия различных типов почв и вопросам изменения численности и состава микрофлоры при интенсификации земледелия, весьма актуальна. Богатый экспериментальный материал, приведенный в ней, безусловно, представит интерес для широкого круга советских специалистов — почвоведов, микробиологов, агрохимиков и др.

ВВЕДЕНИЕ

Микроорганизмы и микробиологические процессы играют важную роль в плодородии почвы и питании растений. Почва создает условия для развития микрофлоры, которая, в свою очередь, оказывает специфическое влияние на почву. В каждом виде почв, обладающем конкретными физико-химическими свойствами, развиваются определенное количество и группы микроорганизмов и устанавливается биологическое равновесие, характерное для данных условий и сезона.

Изменение водного, воздушного и питательного режимов почвы сказывается существенным образом на микрофлоре: меняются количество отдельных групп микроорганизмов, т. е. соотношение между ними, а также динамика и интенсивность микробиологических процессов. Поэтому изучение биологии почвы является непременным условием при применении различных агротехнических мероприятий. Для поддержания и повышения почвенного плодородия и эффективного использования вносимых удобрений необходимо также исследование различных аспектов течения микробиологических процессов.

В условиях интенсивного земледелия в почву вносится значительное количество минеральных удобрений, которые довольно существенно влияют на соотношение питательных веществ в почвенном растворе и в естественных условиях являются причиной нарушения установленного биологического равновесия. В результате этих изменений усиливаются процессы минерализации и в почву поступает больше доступных питательных веществ, которые могут быть биологическим путем переведены в усвояемые формы. Кроме того, возрастают газообразные потери азота. Все это сказывается на почвенном плодородии и условиях питания растений.

Почва — сложный субстрат и точно определить факторы, которые регулируют микробиологические процессы в ней, довольно трудно. Количественные и качественные изменения микрофлоры связаны с питательным режимом почвы и с условиями питания растений. Определение микробиологических процессов, оказывающих существенное влияние на содержание отдельных питательных элементов в почве, является важной задачей, решение которой обуславливает повышение почвенного плодородия и эффективности удобрения. Органические остатки (в агроэкосистемах это, в основном, пожнивные остатки) служат субстратом и главным источником энергии для почвенной микрофлоры. От их количества и химического состава зависит характер и интенсивность микробиологических процессов в почве.

Большую роль играют микроорганизмы в трансформации азота в почве. Аммонифицирующие бактерии, многие актиномицеты, микроскопические грибы и другие микроорганизмы обуславливают минерализацию органического вещества в почве и высвобождение доступного растениям аммонийного азота. Нитрифицирующие бактерии превращают аммонийный азот в нитриты и нитраты. Значительна по составу и количеству микрофлора, использующая минеральный азот и превращающая его в органические формы (процесс иммобилизации). Денитрифицирующие бакте-

рии предопределяют невозвратимые потери газообразного азота. Такие виды, как *Azotobacter (az. chroococcum)* или *Clostridium (Cl. pasteurianum)*, биологически фиксируют поступающий в почву азот атмосферы. Следовательно, трансформация азота самым тесным образом связана с почвенной микрофлорой, от деятельности которой зависит азотный режим почвы, т. е. количество и качество почвенного азота.

Микроорганизмы осуществляют круговорот веществ в почве, влияя на минерализацию органических остатков и превращая нерастворимые формы в доступные для растений соединения. При этих процессах происходит активное выделение метаболитов — продуктов, участвующих в синтезе гумуса. Микроорганизмы содействуют накоплению и разложению гумуса. Количество и качество питательных веществ в почве зависит от интенсивности микробиологических процессов аммонификации и нитрификации, от целлюлозоразлагающей и ферментативной активности и т. д.

Эффективность азотных удобрений бывает невелика: в почве используется до 50% внесенного с удобрениями азота. Большую роль здесь играет также микробиологическая деятельность. При внесении удобрений количество усвояемого азота в почве в большой степени определяется интенсивностью денитрификации, размером и продолжительностью биологической иммобилизации, интенсивностью процессов аммонификации и нитрификации и др. Так, при интенсивном использовании минеральных азотных удобрений резко возрастают денитрификация и биологическая иммобилизация азота. В результате этого снижается коэффициент использования минеральных азотных удобрений, что может привести к загрязнению атмосферы [16, 30].

Большое влияние на азотный режим почв оказывают азотфиксирующие бактерии. Свободноживущие азотфиксаторы, которые в почвах довольно широко распространены, вместе с симбиотическими клубеньковыми бактериями усваивают атмосферный азот и играют важную роль в поддержании азотного режима почв. Клубеньковые бактерии в значительной мере обеспечивают азотное питание бобовых культур.

Минерализация органических фосфорных соединений, превращения фосфатов алюминия, железа, трикальциевых фосфатов в почве осуществляются микроорганизмами. В трансформации серы, железа и других элементов также принимают участие микроорганизмы.

Интенсивное возделывание культур связано с внесением высоких доз минеральных удобрений. Изменения, происходящие при этом в почве, отражаются в значительной степени на микрофлоре. Обработка гербицидами — веществами, чужеродными для почвы, — влияет на количество и состав микрофлоры. В то же время микрофлора участвует в детоксикации пестицидов в почве и в ее очистке от загрязнения некоторыми химикатами.

В почве практически нет процесса, в котором микрофлора не принимала бы активного участия. Антропогенное влияние на почву особенно возрастает в интенсивном земледелии, когда изменяются питательный, воздушный и водный режимы. Необходимость изучения этих изменений связана с вопросами сохранения и повышения почвенного плодородия. Микрофлору можно использовать в качестве показателя для определения направлений течения различных процессов в почве.

ПОЧВА — СРЕДА ДЛЯ РАЗВИТИЯ МИКРООРГАНИЗМОВ

Под влиянием биологических, химических и физических воздействий на горную породу образовалась почва. Почвообразование — сложный исторический процесс. В зависимости от сочетания многих факторов и их интенсивности формируются различные типы почв.

Микроорганизмам принадлежит основная роль в первичном почвообразовательном процессе. Минералы и горные породы разрушаются под влиянием специфических микроорганизмов, так называемых силикатных бактерий, к которым Аристовская причисляет нитрификаторы, тиобактерии, а также спорообразующие бактерии [12].

Участие микроорганизмов в разрушении минералов бывает прямым и косвенным. При прямом разрушении микрофлора воздействует на горную породу двумя способами: ферментативно и посредством микробной слизи [12]. Более значимым является ферментативное разрушение, при котором высвобождается сера, железо, марганец и др. Менее существенное значение имеет разрушение горной породы под действием слизиобразования, поскольку этот процесс очень специфичен. Слизь содержит обычно полисахариды, урсоную кислоту, карбоксильные и фенильные группы, которые воздействуют на минералы. В результате образуются комплексные соединения, и минералы разрушаются. В косвенном воздействии на почвообразующие породы принимают участие метаболические продукты микроорганизмов, которые являются очень сильными реагентами. К ним относятся, помимо прочих, минеральные и органические кислоты, основания, хелатообразующие вещества, характеризующиеся выраженными восстановительными свойствами. Одни микроорганизмы высвобождают серную кислоту, другие — азот. Установлено, что неорганические кислоты, выделенные микроорганизмами, наиболее активно участвуют в разрушении горной породы. Это самая ранняя стадия почвообразовательного процесса, в ходе которой развиваются автотрофные микроорганизмы, использующие минеральные питательные вещества. Гетеротрофные микроорганизмы развиваются более интенсивно там, где имеются органические вещества. Кислоты, выделяемые микроорганизмами, вызывают разрушение горных пород, при этом сами нейтрализуются, и создается благоприятная среда для развития микрофлоры. Многие микроорганизмы при своем развитии выделяют щелочные соединения, которые разрушают труднорастворимые соединения, в частности почвенные минералы. Следовательно, микроорганизмы активно участвуют в первичном почвообразующем процессе. Микроорганизмы, органические соединения, содержащие азот, и горная порода — это необходимые факторы формирования почвы. Автотрофные микроорганизмы являются первыми обитателями безжизненной породы, они образуют органическое вещество и создают условия для развития гетеротрофных микроорганизмов и более высших форм жизни — лишайников, мхов, растений. В связи с этим одна из основных задач — это исследование микробиологических процессов в первичном и современном почвообразовательном процессе.

Почвенная микрофлора играет важную роль в жизни растений. Она образует вблизи корней биологически активный слой, улучшает питание

растений, предохраняет их от болезней и т. д. Однако до настоящего времени сравнительно мало известно об огромной роли микроорганизмов в питании растений, о естественном симбиозе растений и микроорганизмов, который, вероятно, постоянно совершенствовался в ходе эволюции растений и, бесспорно, играл и играет большую роль в жизни каждого растительного вида [80]. Не случайно еще древние римляне утверждали, что для успешного развития растений необходима хорошая почва. В настоящее время наукой доказано, что в почве обитают микроорганизмы, с помощью которых растения приспосабливаются к среде и которые поставляют растениям питательные вещества и защитные средства.

Для развития почвенной микробиологии огромное значение имеют исследования ученых-микробиологов: Виноградского, Омелянского, Буткевича, Костычева, Худякова и др. В 1880 г. Каменский открыл у растений микоризу и сделал вывод, что корни некоторых растений покрыты мицелием грибов. Костычев в 1882–1885 гг. изучал роль почвенных грибов в образовании гумуса. Виноградский открыл процесс хемосинтеза и тем самым новую эру в развитии почвенной микробиологии. Он изолировал и изучил сернистые, железистые и нитрифицирующие бактерии, а в 1894 г. обнаружил и выделил клостридию — *Cl. pasteurianum*, — анаэробный азотфиксатор. Вслед за этим голландский микробиолог Бейеринк открыл азотобактер (*Azotobacter chroococcum*) — аэробный азотфиксатор. Исследования Буткевича были посвящены интенсивности и закономерностям процесса разложения органического вещества, связи между содержащимся в нем азотом и углеродом. Омелянский изучал разложение целлюлозы в почве и поведение азотфиксирующих бактерий. Русские и советские микробиологи установили, что микробиологическая активность в почвах бывает различной и зависит не только от состава микрофлоры, но и от условий, которые созданы для ее развития. Это еще одна из наиболее важных задач почвенной микробиологии: определение факторов, от которых зависит развитие микрофлоры, и оптимальных условий для биологических процессов в почве.

Почва густо населена микроорганизмами, которых она обеспечивает питательными веществами, воздухом, влагой, благоприятной температурой. Развитие микрофлоры в большой степени зависит от водно-физических и физико-химических свойств почвы.

В структурной почве такие факторы, как хорошая аэрация и влажность, создают условия, благоприятные для развития микроорганизмов. Кроме того, многие микроорганизмы в процессе жизнедеятельности выделяют вещества, в свою очередь положительно влияющие на структуру почвы, и таким образом сами создают и улучшают условия для своего развития. Ведущая роль в этом отношении отводится аэробным микроорганизмам, которые соединяют разложившиеся органические остатки, как будто цементируя их. По мнению Мишустина (1956), в создании устойчивой структуры почвы активно участвуют грибы и актиномицеты, они образуют мицелий, опутывающий почвенные частицы. Бактерии (азотобактер, различные бациллы и т. д.) выделяют слизь, с помощью которой формируется водопрочная структура. При разложении органических веществ под влиянием некоторых микроорганизмов выделяется уоновая кис-

лота; соединяясь с белками, она формирует уропротеиновые комплексы, обладающие цементирующими свойствами.

Структурные почвы наиболее богаты микроорганизмами, развивающимися в порах, в связи с чем порозность почвы имеет большое значение для их жизнедеятельности. Почвенные поры обычно заполнены водой, которая используется микроорганизмами. Последние скапливаются на поверхности почвенных частиц, где адсорбированы различные питательные вещества. Бактерии обычно адсорбируются почвой, но это не препятствует их развитию.

Почвенный раствор содержит много питательных веществ, обеспечивающих развитие популяций микроорганизмов.

Для жизнедеятельности микроорганизмов большое значение имеет реакция почвенного раствора (рН), поскольку она влияет на растворимость солей. Однако не сама величина рН, а концентрация водородных ионов в почвенном растворе оказывает влияние на растворимость питательных веществ. Кислая реакция не благоприятствует развитию микрофлоры.

В поверхностных слоях почвы интенсивно протекают окислительные процессы, активно развивается микрофлора, тогда как в более глубоких горизонтах снижается содержание кислорода и усиливаются процессы восстановления. Граница между этими двумя противоположными процессами определяется свойствами почвы и зависит от глубины, на которой развиваются аэробные и анаэробные микроорганизмы.

Важным фактором, способствующим развитию микроорганизмов, является наличие в почве воздуха с высоким содержанием двуокиси углерода. Кислород в достаточном количестве содержится лишь в поверхностном горизонте, где и отмечается наибольшая численность микрофлоры.

Буферная способность, которой обладает почва, инактивирует различные вещества, такие как кислоты, токсины и др., создавая таким образом условия, благоприятные для жизнедеятельности микрофлоры.

Температурные условия также положительно влияют на развитие микрофлоры, поскольку значительные колебания температуры происходят лишь в поверхностном горизонте, тогда как в более глубоких слоях почвы температура бывает довольно постоянной. Микроорганизмы выдерживают относительно низкую температуру. Установлено, что при оттаивании замерзшей почвы стимулируется их развитие. Почвенные микроорганизмы могут страдать от вредоносного влияния солнечных лучей, но, с другой стороны, солнце положительно влияет на микрофлору. По данным Красильникова, азотфиксирующие микроорганизмы более активны в почвенно-климатических условиях с высокой температурой [47].

Под влиянием микроорганизмов в почве разлагаются растительные и животные остатки. Получаемые продукты разложения органических веществ подвергаются биохимическим превращениям, в результате которых в почве накапливаются специфические вещества, называемые гумусом. В процессах минерализации и синтеза при образовании гумуса участвуют различные ферменты, синтезируемые микроорганизмами. В органических остатках в первую очередь разлагаются запасующие углеводы, затем белки, жиры и в последнюю структурные углеводы — геми-

целлюлоза, целлюлоза и лигнин. Органические вещества, которые не минерализуются под влиянием микроорганизмов, в почве практически отсутствуют.

Синтез органических веществ в почве происходит при участии различных видов микроорганизмов. Особую роль играют автотрофные микроорганизмы: серобактерии, железобактерии, нитрифицирующие бактерии и др., которые в процессе жизнедеятельности превращают минеральные вещества в органические, служащие источником питания для гетеротрофных микроорганизмов.

Корни растений и микроорганизмы выделяют в почву различные биологически активные вещества: витамины, ауксины, пантотеновую и никотиновую кислоту и ферменты, находящиеся в активном состоянии и стимулирующие развитие микрофлоры. В почве присутствуют и выделяемые микроорганизмами антибиотики, которые ингибируют или полностью подавляют жизнедеятельность некоторых вредных видов, способствуя развитию полезных микроорганизмов [68, 105].

Бактериальные клетки обычно адсорбированы на поверхности почвенных частиц, что особенно сильно проявляется в поверхностных горизонтах и на почвах с высокой сорбционной способностью. В кислых почвах бактерии адсорбируются более интенсивно. Для высокой адсорбции на нейтральных почвах требуется низкая влажность и высокая температура. Адсорбция — обратимый процесс: изменение температуры, почвенной реакции, влажности и других факторов приводит к десорбции бактериальных клеток. Адсорбированные микроорганизмы защищены от неблагоприятных условий, однако обладают меньшей активностью, поскольку их адсорбция носит не физико-химический, а биологический характер. Почвой адсорбируются также продукты жизнедеятельности микроорганизмов. Особо важное значение для развития микрофлоры имеет адсорбция продуктов метаболизма, поскольку при этом почва освобождается от токсических веществ. При адсорбции ферментов, антибиотиков, стимуляторов роста и других веществ их активность сохраняется продолжительное время, что имеет важное значение для плодородия почвы и развития микрофлоры.

Клетки микроорганизмов распределены в почве неравномерно. Они образуют различные по величине колонии. Наиболее часто сожительствуют неантагонистические виды. Микроорганизмы обычно размещены в крупных порах, хотя могут проникать в мелкие поры и капилляры. Они подвижны и способны перемещаться на 1,5—3,5 м.

В почве практически нет участков, не заселенных микроорганизмами, их расселению помогает способность менять форму в зависимости от внешних условий. Они могут становиться палочковидными, кокковидными, а кроме того, изменять размер и т. д.

О специфическом влиянии типа почвы на количество и состав микрофлоры мнения различны. Так, Мишустин [58, 59] считает, что микроорганизмы распространены в строгой географической зональности. Например, соотношения *Azotobacter*, клубеньковых бактерий, *B. mycoides* и др. меняются в соответствии с почвенно-географическими условиями. По мнению Красильникова (1958), Пошона и де Бержака (1969), числен-

ность и состав почвенной микрофлоры зависят от окружающих условий — растительного покрова, влажности, температуры и других факторов, т. е. распространение микроорганизмов определяется не географической зональностью, а экологическими факторами. Температура — один из важнейших экологических факторов. В почве наиболее многочисленны мезофильные микроорганизмы. В зависимости от географической зональности различают психрофильные и термофильные микроорганизмы.

Важным фактором для жизнедеятельности микроорганизмов является влага: в зонах с низкой влажностью преобладают ксерофитные формы, к основным представителям которых относятся микобактерии и актиномицеты. Распространение и состав микроорганизмов зависят не от типа почвы, а от сочетания факторов, характерных для данной местности [39, 132]. По мнению Мишустина (1948), Сушкиной (1949), по распространению отдельных микроорганизмов можно судить о характере и плодородии почвы. Наиболее часто в качестве такого показателя принимают численность и активность бактерий рода *Azotobacter*, которые особенно чувствительны к изменению почвенно-экологических условий. Следовательно, почва — это естественный субстрат, в котором микроорганизмы находят условия для своего существования. Необходимо отметить, что в природе нет стерильной почвы, т. е. не заселенной микроорганизмами. Численность микроорганизмов, соотношение между отдельными группами, интенсивность процессов, в которых они участвуют, видовой состав и т. д. существенно зависят от почвенно-климатических условий.

При определении заселенности почвы микроорганизмами важно знать не только их численность, но и активность микрофлоры. Количество микроорганизмов в сущности определяет степень биологической активности почвы. В экологических системах вследствие сочетания различных факторов в почве устанавливается биологическое равновесие, которое наиболее сильно нарушается антропогенным воздействием. Различные агротехнические приемы — удобрение, орошение, обработка почвы, чередование культур в севообороте и др., применяемые при возделывании культур, оказывают существенное влияние на почвенную микрофлору. При внесении удобрений микрофлора, как правило, активизируется. Орошение и обработка почв значительно меняют условия существования микроорганизмов. Изменения биологических свойств почвы в зависимости от технологии возделывания культур отражаются на ее свойствах и плодородии, при этом меняется численность, состав и активность микрофлоры, нарушаются основные процессы, происходящие в почве, изменяется степень ее плодородия. Поэтому особую актуальность приобретает изучение биологических свойств почвы, особенно при интенсивном возделывании и удобрении культур как одного из основных факторов антропогенного влияния.

РАСПРОСТРАНЕНИЕ МИКРООРГАНИЗМОВ В ПОЧВЕ

Почва богато заселена микроорганизмами, которые в ней живут, размножаются и погибают. Численность микроорганизмов наиболее велика в поверхностных слоях почвы, хотя в различных почвенно-клима-

тических условиях она несколько отличается. В зонах с низкими температурами количество микроорганизмов незначительно и возрастает в умеренных, субтропических и тропических зонах. В почвах, богатых органическим веществом, микроорганизмов больше, чем в бедных гумусом почвах.

Наиболее распространены бактерии, актиномицеты, микроскопические грибы, низшие водоросли, простейшие, вирусы и т. д. В настоящее время хорошо изучены бактерии, актиномицеты и грибы, т. е. виды, которые принимают активное участие в почвообразовательном процессе и в круговороте веществ.

БАКТЕРИИ

Среди почвенных микроорганизмов наиболее распространены бактерии [47, 64], численность которых составляет 70% от всех почвенных микроорганизмов. В необрабатываемых почвах их количество составляет 1 млн. на 1 г, а в окультуренных — миллиарды. В настоящее время разработаны точные лабораторные методы, позволяющие определить фактическое количество микроорганизмов в почве. Высокая численность бактерий, их общая и специфическая активность свидетельствуют об огромном значении бактерий для почвы.

Бактерии — одноклеточные организмы с многочисленными и разнообразными морфологическими, анатомическими, физико-химическими и биохимическими свойствами.

Бактерии имеют чрезвычайно маленькие размеры, но играют важную роль в природе и обладают рядом преимуществ в борьбе за существование. Эти организмы способны существовать при низких температурах и температуре, близкой к точке кипения воды. Они проявляют высокую активность и способность размножаться: численность некоторых из них за 20 мин может удваиваться. При необходимости они прекращают размножаться, резко снижают активность, образуют споры и, находясь в таком состоянии, способны переносить продолжительное обезвоживание, действие высокого давления и вакуума, низких и высоких температур и т. д. По всей вероятности, в своем большинстве бактерии приспособились к жизни в условиях, существовавших на ранних геологических этапах, и приобрели способность выживать при всех последующих резких изменениях климата.

АКТИНОМИЦЕТЫ*

Примерно 30% почвенной микрофлоры представлено актиномицетами. Эти микроорганизмы относительно устойчивы к недостатку влаги и широко распространены в сухих почвах, особенно в летние месяцы. Поскольку они принимают активное участие в процессах минерализации,

* Актиномицеты относятся к прокариотам, царству бактерий, порядку *Actinomycetales*. Краткий определитель бактерий. Берги, 1980. — *Прим. ред.*

наибольшее их количество встречается в почвах, богатых растительными остатками. Актиномицеты обладают богатым ферментативным аппаратом, позволяющим минерализовать труднорастворимые органические вещества. Актиномицеты распространены в различных географических широтах и на различных высотах над уровнем моря, их обнаруживают даже в недрах земли, в источниках нефти и горючего газа. Они активно участвуют в разложении азотсодержащих и безазотистых органических веществ в почве. Присутствие актиномицетов почти во всех почвах, как и их способность усваивать различные вещества, свидетельствуют о важной роли в почвенных процессах. Они участвуют не только в разложении растительных и животных остатков в почве, но и в процессах образования и минерализации гумуса с высвобождением минеральных веществ и др. Кроме того, актиномицеты обладают еще одним важным свойством — способностью образовывать антибиотики, которые оказывают губительное воздействие на различных возбудителей болезней и, таким образом, играют важную роль в поддержании биологического равновесия в почве.

ГРИБЫ

Широко распространены в почвах также микроскопические грибы, составляющие 1–3% от объема микрофлоры. При развитии в почве грибы образуют мицелий и накапливают большое количество биомассы, что имеет важное значение для плодородия почвы. Грибы устойчивы к кислой реакции и являются основными обитателями кислых почв.

Микроскопические грибы — многочисленная и разнообразная группа микроорганизмов. Наибольшее значение среди них имеют плесневые грибы, которые по сравнению с бактериями и актиномицетами считаются более высокоорганизованными. Плесневые грибы распространены особенно широко в верхнем и пахотном слоях, где их насчитывают до сотни тысяч на 1 г почвы.

В почве микроскопические грибы играют важную роль, поскольку их ферментативный аппарат обладает высокой активностью, способен очень быстро осуществлять окисление и разложение углеводов, жиров, белков и принимает участие в биохимических трансформациях различных органических веществ в почве.

ВОДОРΟΣЛИ*

В почве также встречаются микроскопические виды водорослей, которые в благоприятных условиях, особенно при достаточном обеспечении влагой, усиленно размножаются и покрывают почву зеленым налетом. Однако такое обилие водорослей в почве бывает кратковременным, и изменение условий внешней среды приводит к их гибели. Они повышают

* Авторы понимают под водорослями в основном фототрофные прокариотические микроорганизмы — синезеленые водоросли, которые по современной терминологии называются цианобактериями. Краткий определитель бактерий. Берги, 1980. — *Прим. ред.*

плодородие почвы, обогащая ее запасами органического вещества. Выделяемая ими слизь способствует оструктуриванию почвы. Водоросли обогащают почвенный раствор кислородом, выделяемым в процессе фотосинтеза, и тем самым создают условия, благоприятные для развития аэробных микроорганизмов, играющих, в свою очередь, важную роль в процессе корневого питания растений, особенно риса, на затопляемых площадях. Наибольшее практическое значение имеют синезеленые водоросли, обладающие способностью связывать атмосферный азот и обогащать им почву.

ВИРУСЫ И ФАГИ

В почве широко распространены и так называемые ультрамикроскопические формы, к которым относятся вирусы. Это особая группа живых существ, размножающаяся в тканях живых растений или животных.

Вирусы, вызывающие гибель бактерий, называются бактериофагами. Они довольно широко распространены в почвах и способны вызывать лизис (гибель) важнейших групп почвенных микроорганизмов. По мнению большинства исследователей, почвоутомление (клеверное, люцерновое) — результат накопления активных фагов.

Численность и соотношение указанных микроорганизмов в различных почвах зависят от конкретных условий — аэрации, влажности, свойств почвы, растительности и др.

В некоторых почвах численность микроорганизмов достигает максимума не в поверхностном горизонте, а на довольно значительной глубине; это зависит от свойств почвы и толщины гумусового горизонта. Количество аэробных бактерий наиболее высоко в поверхностных слоях и снижается в более глубоких горизонтах. Известно, что бациллы, образующие споры и хорошо приспособляющиеся к неблагоприятным условиям, в наибольшей степени распространены в нижних слоях почвы. Существенное влияние на распространенность микроорганизмов в почвенных горизонтах оказывает растительный покров. Растения с глубоко проникающей корневой системой обогащают нижележащие слои почвы органическим веществом, улучшают аэрацию и таким образом способствуют увеличению численности микроорганизмов.

На численность и состав микроорганизмов большое влияние оказывает наличие в почве органического вещества. На первом этапе минерализации органических остатков, когда субстрат богат легкоминерализующимися органическими веществами, в почве усиленно размножаются не образующие споры бактерии [59, 60]. На следующем этапе минерализации преобладают спорогенные бактерии. Установлено, что актиномицеты, минерализующие труднорастворимые органические вещества, развиваются тогда, когда субстрат богат ими.

По мнению Мишустина, наличие *B. megaterium* и *B. mesentericus* может служить показателем происходящих в почве интенсивных процессов минерализации, в результате которых возрастает количество легкоусвояемых азотистых соединений. Обилие в почве таких видов микроорганизмов, как *B. idosus* и *B. cereus*, обладающих способностью легко усваи-

вать азотсодержащие вещества, свидетельствует о возможности процесса минерализации труднорастворимых органических веществ. *B. mycoides* используют для питания легкорастворимые минеральные формы азота, в связи с чем они встречаются в почвах с высокой степенью минерализации. Тот факт, что численность бактерий, не образующих споры, значительно превышает число спорогенных, свидетельствует о протекающих в почве процессах минерализации, т. е. о разложении органических остатков. Автором установлено, что при широком распространении *B. mycoides*, *B. mesentericus* и *B. megaterium* в почве идет интенсивная аммонификация.

Следовательно, почва — это благоприятная среда для развития микрофлоры, которая в ней живет, развивается и погибает. Микроорганизмы используют питательные вещества почвы и, в свою очередь, становятся их источником. Микроорганизмы осуществляют процессы, связанные с биологическим круговоротом веществ, улучшают питание растений, содействуют самоочищению почвы и т. д.

Микрофлора, развивающаяся в почве, участвует в поддержании и повышении наиболее важного свойства почвы — ее плодородия.

Широкая химизация земледелия на первое место ставит вопросы о влиянии минеральных удобрений и пестицидов на почвенную микрофлору. Особенно актуальны исследования по выявлению причин низкой эффективности азотных удобрений и роли микрофлоры в процессах нитрификации, денитрификации, биологической иммобилизации и др. При повсеместном использовании гербицидов в борьбе с болезнями и вредителями растений возникает проблема очистки почв от загрязнения остатками препаратов.

Перед почвенной микробиологией, как отмечают Пошон и де Бержак (1960), стоят такие важные задачи, как изучение численности, состава, активности и динамики развития микрофлоры в различных почвах; исследование изменений микрофлоры в процессе почвообразования; ее равновесие в почвах и изменение под влиянием антропогенных факторов; установление связи биологических процессов с плодородием почвы и т. д. Для ответа на эти вопросы необходимо проводить исследования не со стерильными культурами, изолированными от почвенной среды, а в естественных условиях, когда в процессы включены различные физиологические группы и установлены определенные взаимоотношения между ними. Это даст возможность регулировать микробиологические процессы с целью повышения почвенного плодородия, и отсюда вытекает актуальность проблемы. Повышенный интерес к почвенной микрофлоре вызван и тем обстоятельством, что многие виды микроорганизмов в процессе жизнедеятельности выделяют ростовые и антибиотические вещества, которые используются для промышленного производства стимуляторов и антибиотиков, т. е. получаемые биологические препараты составлены на основе активных микроорганизмов. Высокоперспективным является использование азотфиксирующей активности небобовых растений. Во многих странах за счет бактериальных удобрений обеспечивается частичное или полное снабжение бобовых культур азотом. В Болгарии с успехом применяют препарат нитрагин.

МИКРОФЛОРА И МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ПОЧВАХ БОЛГАРИИ

Почвы в Болгарии разнообразны по своим физическим и химическим свойствам, что обусловлено характером почвообразующей породы, рельефом, растительностью и т. д. Немаловажное значение имеют и условия развития микрофлоры. Основными факторами, определяющими численность и состав микрофлоры в почвах, являются содержание органического вещества, реакция почвы, влажность, температура и др. Агротехнические приемы оказывают значительное воздействие на микрофлору и почвенно-биологические свойства, в связи с чем необходимо проводить изучение микрофлоры как в целинных, так и окультуренных почвах.

Численность микрофлоры в почве меняется, и динамика ее развития зависит от различных факторов. Поэтому целесообразно изучать сезонную, а иногда даже дневную динамику развития почвенной микрофлоры. Результаты исследования, проводимого ежедневно в течение около одного месяца зимой и одного — летом на почве-сморнице*, показывают, что ежедневно происходят значительные колебания численности микрофлоры. В зимний период численность микрофлоры высока, что согласуется с данными Красильникова (1956), также отмечавшего ее повышение при низких температурах. Колебания численности микрофлоры в течение зимы весьма незначительны, что, по-видимому, связано с увеличением продолжительности периода покоя большинства микроорганизмов, которые размножаются не так часто, как в летнее время. Динамика роста микрофлоры носит следующий характер: вслед за каждым увеличением численности микроорганизмов (рис. 1) она резко падает, что обусловлено влиянием токсических веществ, которые накапливаются в почве в процессе жизнедеятельности микроорганизмов. После столь массовой гибели микроорганизмов в почве накапливается значительное количество микробной биомассы, которая подлежит минерализации. Вместе с ней в почву поступают питательные вещества, включенные в микробные клетки. Минерализация этой микробной биомассы протекает наиболее интенсивно в периоды с высокой температурой. Данные этого же эксперимента показывают, что меняется и состав микрофлоры. Зимой отмечается более высокая численность микроорганизмов, использующих для питания минеральный азот, который они превращают в своих клетках в органический, тогда как в летний период преобладает микрофлора, участвующая в процессах минерализации [31]. Суточная динамика роста зависит от температуры и влажности почвы. Данные исследования динамики развития микрофлоры дают реальное представление об участии ее в биологических процессах в почве [32, 52].

Численность и вид аммонифицирующих бактерий влияют на интенсивность минерализации азотсодержащих органических веществ. Начальный этап процесса минерализации происходит при участии аммонифицирующих бактерий, образующих эндоспоры, после чего развиваются аспо-

* Черноземовидные почвы Болгарии. — *Прим. пер.*

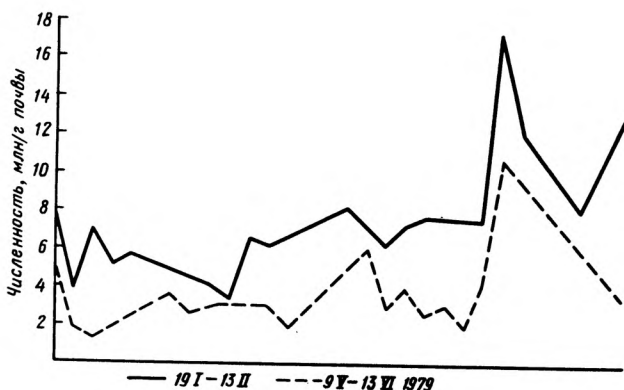


Рис. 1. Динамика роста бактерий, усваивающих минеральный азот.

рогенные аммонификаторы. Минерализация трудноразлагающихся органических веществ при низкой влажности происходит под влиянием актиномицетов, тогда как в кислых почвах и при хорошей аэрации минерализация осуществляется под влиянием почвенных грибов. Размножение микроорганизмов, использующих для питания минеральный азот, может служить показателем завершения процессов минерализации и биологической иммобилизации усвояемого азота. Однако не количество, а состав микрофлоры имеет большое значение для биологических свойств почвы. Как известно, микрофлора почвы включает специализированные группы микроорганизмов: нитрифицирующие, азотфиксирующие, целлюлозоразлагающие и др.

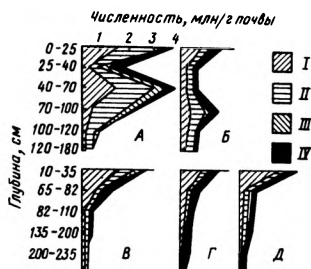
Микробиологическая характеристика почв необходима, поскольку она позволяет выявить влияние агротехнических приемов и возделывания культур на биологические свойства почв, длительно обрабатываемых. Результаты микробиологических исследований, кроме того, дают представление об особенностях микробиологических процессов, происходящих в конкретных почвах, — биологической иммобилизации, денитрификации, азотфиксации и др., т. е. факторах, необходимых для прогнозирования плодородия почв и эффективности вносимых удобрений.

БАКТЕРИИ, АКТИНОМИЦЕТЫ И ГРИБЫ

Данные по изучению микрофлоры целинных участков карбонатных и типичных черноземов показывают, что весной в основном преобладают аспорогенные аммонификаторы, а также значительные количества актиномицетов (рис. 2). В поверхностном горизонте возделываемых почв возрастает численность бактерий, не образующих споры, по-видимому, вследствие лучшей аэрации. В течение лета численность этих бактерий возрастает, а актиномицетов — снижается. Осенью увеличивается численность аспорогенных аммонификаторов и актиномицетов. Динамика численности микроорганизмов и изменений соотношения между бактериями

Рис. 2. Распространение микроорганизмов по глубине профиля различных почв:

А — карбонатный чернозем; Б — выщелоченный чернозем; В — серая лесная почва; Г — сильно выщелоченная коричневая лесная почва; Д — псевдоподзолистая коричневая лесная почва; I — аммонифицирующие бактерии; II — бактерии, использующие минеральный азот; III — актиномицеты; IV — грибы.



и актиномицетами по сезонам года в этих почвах, вероятно, определяется условиями влажности и температуры.

В карбонатных и типичных черноземах, особенно в осенний и зимний периоды, встречается значительное количество микроорганизмов, использующих в качестве источника питания минеральный азот. Это в основном микобактерии и виды бактерий, не образующих споры, присутствие которых показывает, каково участие микрофлоры в биологической иммобилизации усвояемого азота при определенных условиях и возможна ли сравнительно быстрая минерализация. По данным Тарвиса [96], органический азот бактериальной массой минерализуется хорошо.

При изучении видового состава бактерий отмечено большое количество *B. megaterium*. Осенью численность этого вида уменьшается, а *B. cereus* и *B. idosus* увеличивается. Развитие последних двух видов связано с наличием неразложившихся органических остатков, количество которых в этот период в почве возрастает. В окультуренных обрабатываемых почвах численность *B. megaterium*, *B. mesentericus* и *B. mycoides* увеличивается, что свидетельствует о высокой степени минерализации почв. Количество грибов в этих почвах незначительно.

Результаты микробиологических исследований, проведенных на карбонатных и типичных черноземах, дают основание считать, что весной и летом усиливается минерализация легкоразлагающихся органических веществ в основном вследствие биологического круговорота питательных элементов в почве. Осенью создаются условия, способствующие разложению трудноминерализующихся органических (гумусовых) веществ.

В выщелоченных целинных черноземах, по сравнению с карбонатными и типичными черноземами, летом повышается численность аспорогенных аммонификаторов и актиномицетов, а осенью преобладают спорообразующие бактерии (в основном *B. megaterium*) и актиномицеты. В этих же, но в окультуренных почвах весной возрастает численность аспорогенных бактерий, летом значительно увеличивается количество актиномицетов, а осенью преобладают вновь аспорогенные бактерии. Микроорганизмы, использующие для питания минеральный азот, в этих почвах встречаются реже, чем в карбонатных и типичных черноземах. Они представлены главным образом бактериями и бациллами, численность которых возрастает в периоды с низкими температурами. Из микроскопических почвенных грибов в выщелоченных черноземах наиболее часто встречаются роды *Penicillium*, *Aspergillus* и *Mucor*. Выщелоченные

черноземы по сравнению с карбонатными и типичными черноземами характеризуются меньшей численностью микроорганизмов, более высоким соотношением спорообразующих бактерий и актиномицетов к общему количеству микроорганизмов. Этот факт свидетельствует об усилении процессов минерализации органического вещества.

Если судить по численности и составу микрофлоры, то в темно-серых лесных почвах минерализация гумуса происходит в основном весной, а в остальные сезоны года минерализуются легкоразлагающиеся органические вещества. В этих почвах довольно низкая численность микроорганизмов, использующих для питания минеральный азот. Динамика их развития аналогична обнаруженной в черноземных почвах, однако численность несколько ниже. Состав и динамика роста микрофлоры в светло-серой и темно-серой лесных почвах не различаются, хотя количество микроорганизмов в светло-серых почвах ниже. В этих почвах встречается значительное количество грибов, основными представителями которых являются роды *Penicillium* и *Aspergillus*. Возделываемые светло-серые лесные почвы довольно бедны микрофлорой, что, вероятно обусловлено создавшимися вследствие продолжительной обработки неблагоприятными условиями для ее развития. В целинных почвах распространены бациллы, которые наиболее широко представлены видом *B. agglomeratus*, тогда как в окультуренных землях наиболее многочисленны *B. megaterium*. В псевдоподзолистых светло-серых лесных почвах с высокой степенью кислотности преобладают разнообразные по видовому составу почвенные микроскопические грибы, среди которых встречаются представители родов *Penicillium*, *Aspergillus*, *Trichoderma* и *Fusarium*.

Луговые коричневые почвы богаты микроорганизмами, особенно аспорогенными аммонификаторами, количество которых весной в целинных почвах относительно низко, но значительно возрастает в обрабатываемых землях. Численность микрофлоры, использующей минеральный азот, примерно равна той, которая использует азот органический, т. е. аммонифицирующей. Такое соотношение между группами микроорганизмов, использующими различные источники питания, создает устойчивое и высокое содержание органического вещества в луговых коричневых почвах.

Количество микроорганизмов в коричневых лесных почвах довольно значительно меняется по сезонам. В типичных слабовыщелоченных коричневых лесных почвах довольно много микроорганизмов, использующих минеральный азот, в сильновыщелоченных и оподзоленных вариантах этих почв их численность снижается. Бациллы в этой почве в основном представлены *B. megaterium* и *B. idosus*. Активность актиномицетов гораздо выше, чем в луговых коричневых почвах. Результат микробиологических исследований свидетельствует о том, что продолжительность эксплуатации выщелоченных коричневых почв способствует усилению процессов минерализации [27, 30].

В смолницах количество и состав микрофлоры примерно такой же, как и в коричневых лесных почвах. В течение весны возрастает численность аспорогенных аммонифицирующих бактерий. Летом отмечается увеличение общей численности микрофлоры, особенно в окультуренных

почвах [27], в которых, как и в коричневых почвах в осенний период, возрастает количество актиномицетов. В почве широко представлены бактерии, источником питания которых служит минеральный азот. Причина их столь широкого распространения заключается в том, что почвы бедны азотом в растительных остатках. Из спорогенных бактерий наиболее часто встречаются виды *B. megaterium* и *B. mesentericus*, а из почвенных грибов — виды *Penicillium* и *Aspergillus*. Основываясь на данных о составе микрофлоры, можно заключить, что процессы минерализации растительных и животных остатков на возделываемых участках черноземовидных почв происходят весьма активно.

В гумусово-карбонатных почвах в периоды с низкой температурой микрофлора представлена в основном аммонифицирующими бактериями. В летний период увеличивается численность спорообразующих форм и актиномицетов. Количество микрофлоры в аллювиальных почвах в значительной степени зависит от состава и количества органического вещества и от влажности почвы. Численность микроорганизмов высока весной, осенью, зимой и резко сокращается в летний период. Численность аммонифицирующих бактерий и бактерий, использующих минеральный азот, меняется в зависимости от состава и количества органических остатков в почве.

Определенный интерес представляют исследования микрофлоры засоленных почв, причем не только в связи с их плодородием, но и с историей происхождения. По Гедройцу (1912), соли в таких почвах накапливаются биологическим путем, аналогично микробиологическим процессам, происходящим в озерах. Антипов-Каратаев (1953) при изучении этой проблемы придает важное значение роли сульфатредуктазы. Другие авторы считают, что засоление — это микробиологический процесс. Микробиологические факторы, вызывающие засоление почв, изучены еще недостаточно, хотя выяснение причин этого явления имеет большое теоретическое и практическое значение.

Количество и состав микрофлоры засоленных почв зависят от степени и характера засоленности [83]. Сравнительно бедны микроорганизмами солонцы, богаче — солончаки-солонцы и наиболее богаты солончаки. В солонцах распространены в больших количествах *B. megaterium*, *B. idosus* и *B. cereus*, в солончаках-солонцах — *B. mesentericus* и в солончаках — *B. cereus* и *B. mesentericus*, а также актиномицеты. Общее содержание микроорганизмов в солончаках, как правило, в 2–3 раза выше, чем в других видах засоленных почв. При сравнении микрофлоры засоленных и незасоленных почв можно отметить существенные различия в ее составе; в засоленных почвах больше спорообразующих форм, актиномицетов и меньше грибов. В засоленных почвах происходит значительное снижение численности микроорганизмов, особенно когда содержание солей превышает 3%. При засолении почв хлоридами уже при концентрации солей 0,8% значительно снижается интенсивность процессов аммонификации и нитрификации. Наиболее сильно уменьшаются активность и количество микроорганизмов, участвующих в разложении целлюлозы и органических фосфатных соединений. В солонцах основная масса микрофлоры распределяется в верхних горизонтах почвы и снижается по глубине профиля.

БАКТЕРИАЛЬНАЯ БИОМАССА

В почве микроорганизмы развиваются, размножаются и погибают. Мертвые микробные клетки становятся запасными питательными веществами почвы. По данным Пейве [72], бактериальная биомасса минерализуется в 5 раз быстрее, чем растительные остатки. В ней содержится высокое количество азота — около 12% от массы сухого вещества, фосфора — 2% и т. д. После минерализации бактериальная биомасса становится источником питательных веществ в почве.

Сведения о количестве бактериальной биомассы в почве противоречивы [39, 40].

Несмотря на опыты по определению общей биомассы (по разнице в выделении CO_2 нестерильной и стерильной почвой в аппарате Варбурга [115]) и данные других исследований, до настоящего времени нет точных сведений о содержании биомассы в почве. Такие данные очень важны, поскольку они позволяют судить о способности почвы запастись питательными веществами, полученные в результате минерализации микробной массы.

В почвах Болгарии исследовали бактериальную биомассу, причем учитывали численность бактерий, их распространение и динамику развития. Как отмечает Худяков (1972), динамика развития особенно важна при интенсивном размножении определенных групп микроорганизмов, поскольку максимум их развития сопровождается накоплением веществ, токсических для данного вида бактерий, и происходит резкое торможение их развития, сопровождающееся отмиранием бактериальных клеток. Именно этот процесс сопровождается накоплением биомассы. От численности микрофлоры при "максимуме" и "минимуме" развития в большой степени зависит объем бактериальной массы, поступающей в почву в виде мертвых клеток.

Наращивание бактериальной массы может происходить примерно 50 раз в год [31].

В почвах Болгарии количество бактериальной массы значительно колеблется по сезонам года, что обусловлено приведенными выше причинами, а также изменениями температуры, влажности почвы и количества растительных остатков. Хотя приведенные данные весьма приближительны, все же можно отметить, что бактериальная масса в почвах страны представляет собой богатый резерв питательных веществ.

В поверхностном горизонте (0–20 см) возделываемых карбонатных черноземов количество свежей бактериальной массы колеблется от 2160 кг/га (весной) до 6790 кг/га (летом), тогда как в слое почвы на глубине 20–40 см — от 2830 до 6680 кг/га соответственно. Таким образом, в течение вегетационного периода такие почвы обладают большими запасами питательных элементов в виде бактериальной массы.

В типичных черноземах количество бактериальной массы меньше, чем в карбонатных, особенно весной и летом. В этих почвах (как в целинных, так и возделываемых) содержание биомассы в горизонте 0–20 см выше, чем в слое 20–40 см.

В возделываемых выщелоченных черноземах количество бактериальной массы достигает 1110 кг/га летом и 3190 кг/га осенью.

В целинных и возделываемых темно-серых лесных почвах летом и осенью накапливается наибольшее количество бактериальной массы. Так, если весной на 1 га приходится от 1110 до 1640 кг, то к лету ее количество возрастает до 5150–5910 кг/га. К осени основная часть биомассы сосредоточена в горизонте 0–20 см, что свидетельствует о поступлении значительного количества питательных веществ из бактериальной массы в этот слой в течение летнего периода. В светло-серых возделываемых почвах количество бактериальной массы значительно меньше.

Наиболее высоко количество бактериальной массы в выщелоченных коричневых лесных почвах, особенно на возделываемых площадях в летний период: до 9000 кг/га в горизонте 0–20 см. Объем бактериальной массы сильно снижается в обрабатываемых оподзоленных коричневых лесных почвах.

В целинных и обрабатываемых гумусно-карбонатных почвах (горизонт — 20–40 см) бактериальная масса достигает максимума в летний и осенний периоды. Поступления питательных веществ после минерализации биомассы в этих почвах можно ожидать в основном осенью.

Через определенный период большое количество бактериальной биомассы в почве подвергается минерализации, что позволяет несколько снизить дозы вносимых удобрений. Данные балансовых опытов [40] показали, что в формировании урожая участвует азот почвы (50%), в который входит азот из минерализованной микробной биомассы и растительных остатков. Изучение микробной массы, в том числе бактериальной, имеет важное научное и практическое значение. Результаты исследований почв Болгарии показали, что в карбонатных и типичных черноземах количество азота в бактериальной массе в летний и осенний периоды достигает 40–90 кг/га, в коричневых — до 40, луговых коричневых — до 110 кг/га, и это оказывает значительное влияние на урожайность культур [40, 49].

АММОНИФИЦИРУЮЩАЯ И НИТРИФИЦИРУЮЩАЯ АКТИВНОСТЬ ПОЧВ

Азот, содержащийся в растительных остатках, тканях животных, микроорганизмах, почвенном гумусе и вносимый с навозом, зеленым удобрением и т. д., обычно находится в органических соединениях. Микрофлора разлагает его органические формы и переводит в доступное для растений состояние. Процессу аммонификации подвергаются азотсодержащие соединения с различной структурой — белки, аминокислоты, гликопептиды, нуклеиновые кислоты, амиды, алкалоиды, амины и др. Наиболее интенсивно протекает аммонификация белков. При гидролизе простые белки распадаются на аминокислоты, а сложные, кроме этого, — на другие органические и неорганические соединения. Основными конечными продуктами аэробного разложения белков являются CO_2 , аммиак, сульфаты и вода. При анаэробном разложении образуются аммиак, амины, органические кислоты, индол, скатол, сероводород, CO_2 и др. Аммонификация протекает с участием бактерий родов *Bacteroides* и *Bacillus*. К особенно активным аммонификаторам относятся *B. megaterium*, *B. mycoides*, *B. mesentericus* и *Proteus Vulgaris* родов *Pseudomonas*, *Clostridium* и др.

Белки разлагаются под действием протеолитических экзоферментов, рибонуклеазы и дезоксирибонуклеазы, которые синтезируются микроорганизмами. Аммонификация азотсодержащих органических веществ — это микробиологический процесс.

Аммиак, образующийся в почве при аммонификации, адсорбируется обменными ионами или используется микроорганизмами и снова переходит в органическую форму, т. е. иммобилизуется. В зависимости от свойств почвы при участии нитрифицирующих бактерий он может окисляться сначала до азотистой, а затем азотной кислот (нитрификация), часть образовавшихся нитратов восстанавливается в молекулярный азот (денитрификация) с последующим уходом его в атмосферу.

Аммонифицирующие бактерии при помощи ферментов, выделяемых ими в почву, разлагают сложные белковые молекулы на более простые соединения. Эти соединения осмотическим путем проникают в клетки микроорганизмов и под действием внутриклеточных ферментов подвергаются дезаминированию, при котором высвобождается аммиак.

Если в почве содержится много углерода, аммонификация протекает довольно интенсивно, но высвобождается мало аммиака, поскольку при наличии высокого количества богатой углеродом органической массы создаются условия для активного развития микроорганизмов, расходующих аммиачный азот для формирования клеток. Азот переходит в органическую форму, т. е. иммобилизуется, и не выделяется в почву.

Аммонификация — важное звено круговорота азота, которая протекает в почве в больших масштабах. Высвобождающийся аммиачный азот не вымывается, а связывается почвенно-поглощающим комплексом в количествах, зависящих от ионообменной способности почв. В нейтральных и хорошо аэрированных почвах значительная часть аммонийного азота быстро подвергается нитрификации. При неблагоприятных для нитрификации условиях (кислая реакция, плохая аэрация) процесс аммонификации протекает очень интенсивно, приводя к потере азота из-за улетучивания аммиака. Высокие потери могут происходить при наличии в почве легкоминерализующихся, богатых азотом органических веществ, при благоприятной влажности и температуре почвы и т. д., поскольку в этом случае процесс аммонификации органических азотных соединений протекает с высокой скоростью.

Нитрификация — процесс, связанный с накоплением нитратного азота в почве. От его интенсивности зависит азотный режим почвы — один из основных факторов почвенного плодородия.

Нитрификация в почве подробно изучена Виноградским (1952). При окислении аммиака нитрифицирующими бактериями выделяется энергия, используемая ими для синтеза органических веществ. Окисление аммиака происходит в два этапа: на первом — до азотистой, на втором — до азотной кислоты. В первом этапе нитрификации принимают участие бактерии рода *Nitrosomonas*, *Nitrosocystis*, *Nitrosospira* и *Nitrosolobus* [64], во втором — *Nitrobacter*, *Nitrospina* и *Nitrococcus*.

Нитрифицирующие бактерии чувствительны к окружающей среде. Они используют лишь до 9% энергии, выделяемой при окислительных процессах аммонификации, и реагируют на изменение почвенной реакции,

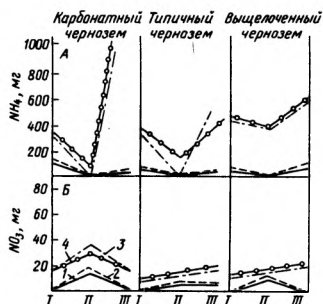


Рис. 3. Аммонифицирующая и нитрифицирующая активность почв:

А — аммонификация; Б — нитрификация; I — весна; II — лето; III — осень; 1 — целина, основная активность; 2 — обрабатываемая почва, то же; 3 — целина, потенциальная активность; 4 — обрабатываемая почва, то же.

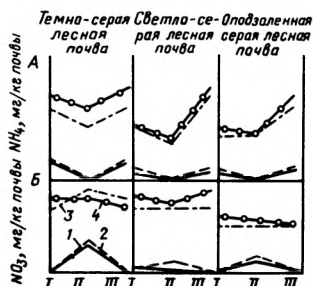


Рис. 4. Аммонифицирующая и нитрифицирующая активность почв:

А — аммонификация; Б — нитрификация; I — весна; II — лето; III — осень; 1 — целина, основная активность; 2 — обрабатываемая почва, то же; 3 — целина, потенциальная активность; 4 — обрабатываемая почва, то же.

не развиваясь при pH ниже 6. В их клетки могут легко проникать токсические вещества, это свойство используют при применении ингибиторов нитрификации в почвах. В нейтральные, хорошо аэрированные почвы в результате нитрификации ежегодно поступает в среднем 300 кг/га азотной кислоты [81], которая содействует повышению растворимости фосфатов и поступлению более высоких количеств усвояемого растениями фосфора в почву.

В Болгарии проведены подробные исследования интенсивности процессов аммонификации и нитрификации в почвах [27, 100]. В черноземах аммонификация происходит интенсивно, за исключением летнего периода. Минерализация органического азота активно осуществляется осенью, в карбонатных и типичных черноземах — весной, а в выщелоченных черноземах — в течение почти всего года (рис. 3). Активность нитрифицирующих микроорганизмов в черноземах высока, хотя носит сезонный характер. Летом при высокой температуре создаются оптимальные условия для поступления нитратов в почву, поскольку этот период совпадает с вегетационным периодом сельскохозяйственных культур. Нитрификация протекает наиболее интенсивно в обрабатываемых почвах, особенно в черноземах; в оподзоленных черноземах накапливается больше нитратного азота.

Серые лесные почвы в течение всего вегетационного периода при оптимальной влажности обогащаются аммонийным азотом (рис. 4). При этом процесс нитрификации интенсивно протекает в темно-серых лесных почвах и сильно снижается в кислых светло-серых лесных почвах. Поскольку процессы аммонификации преобладают над нитрификацией, в кислых серых почвах накапливается аммиачный азот.

В смолницах оба процесса — аммонификация и нитрификация — идут интенсивно, причем в периоды с высокой температурой (весна, лето) преобладает нитрификация.

В луговых коричневых почвах аммонификация протекает интенсивнее, значительно слабее в выщелоченных и особенно в псевдоподзолистых (оподзоленных) лесных почвах. В этих почвах процесс нитрификации слабее по сравнению с черноземами и резко тормозится при низкой влажности летом. В псевдоподзолистых коричневых лесных почвах процесс нитрификации обычно подавлен.

Необходимо подчеркнуть, что в почвах с нейтральной или слабощелочной реакцией накапливается нитратный азот. В кислых почвах (светлосерые, оподзоленные, коричневые и оподзоленные черноземы) после внесения азотных удобрений в аммонийной форме, особенно карбамида, может развиваться аммонийная токсичность, усиливающаяся в периоды с высокой влажностью и низкой температурой. В почвах с повышенной интенсивностью процессов нитрификации накапливается значительное количество нитратов, тем самым создавая условия, благоприятные для денитрификации, которая приводит к невозвратимым потерям газообразного азота. В Болгарии это может происходить на почвах с нейтральной реакцией (карбонатные и типичные черноземы, типичные и слабовыщелоченные коричневые лесные почвы и т. д.). Знание динамики роста микроорганизмов и интенсивности прохождения аммонификации и нитрификации позволит регулировать эти процессы и установить в зависимости от почвы дозы, сроки и виды азотных удобрений. Этим обуславливается полное использование вносимых туков и снижение потерь при их применении.

МИКРООРГАНИЗМЫ, УЧАСТВУЮЩИЕ В РАЗЛОЖЕНИИ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ В ПОЧВЕ

Из всех органических соединений в природе наиболее распространена целлюлоза. Растения ежегодно образуют огромные количества целлюлозы, в которой углерод находится в виде органических соединений.

Биологический круговорот углерода — грандиозный процесс: достаточно себе представить, что при отмирании растений в почву попадает огромная масса растительных остатков, в лесах накапливается подстилка, на дно водоемов откладываются водоросли и т. д., и все они содержат целлюлозу и углерод в органической форме.

Целлюлозу в почве разлагают аэробные и анаэробные микроорганизмы. Аэробные целлюлозоразлагающие бактерии выделяют много слизи, которая участвует в процессах оструктурирования почвы и гумусообразования [44, 45].

Одним из компонентов синтеза гуминовой кислоты являются продукты разложения клеточных стенок растений целлюлозоразлагающими микроорганизмами — миксобактериями. Полученные в данном процессе углеводы используются другими микроорганизмами (азотфиксирующими и т. д.), что также является важным моментом. Интенсивность разложения целлюлозы определяется почвенными условиями, а также содержанием фосфора, азота и других питательных веществ [78].

В карбонатных черноземах широко распространены целлюлозоразлагающие микроорганизмы, численность которых составляет 0,1–0,5 млн. на 1 г почвы [30]. В разложении целлюлозы активно участвуют бактерии, в том числе актиномицеты. Меньшую активность проявляют грибы. В поверхностном горизонте (0–20 см) возделываемых участков этого типа почв высока численность целлюлозоразлагающих микроорганизмов, значительную активность среди которых проявляют бактерии. Большая численность актиномицетов в выщелоченных черноземах свидетельствует о более медленном разложении целлюлозы в этих почвах.

В темно-серых лесных почвах больше бактерий и меньше грибов и актиномицетов, в оподзоленных преобладают целлюлозоразлагающие бактерии, а в серых лесных почвах — миксобактерии и грибы.

В смолнищах численность целлюлозоразлагающих микроорганизмов значительно варьирует по сезонам. Актиномицеты составляют от 40 до 90% общего количества целлюлозоразлагающих микроорганизмов, что дает основание предполагать медленное прохождение процесса минерализации целлюлозы.

В типичных и слабовыщелоченных коричневых лесных почвах бактерии, актиномицеты и грибы представлены почти в одинаковом соотношении. При оподзоливании таких почв отмечается тенденция к снижению численности бактерий, грибов и увеличению актиномицетов.

В гумусно-карбонатных почвах менее распространены бактерии, но в них больше актиномицетов и грибов.

В целом данные по изучению распространения микроорганизмов и соотношений между их отдельными группами позволяют предположить, что разложение целлюлозы в почвах Болгарии протекает довольно интенсивно. Однако это зависит от особенностей типа почвы.

Целлюлозоразлагающая активность почвы зависит от численности, состава и активности микрофлоры. Проведенные исследования показывают, что она определяется главным образом содержанием азота, влажностью почвы и составом растительных остатков в ней. Более активно разлагается органическое вещество с высоким содержанием азота (остатки бобовых культур), при этом стимулируется размножение аммонифицирующих бактерий и накапливается усвояемый азот, необходимый для жизнедеятельности целлюлозоразлагающих микроорганизмов.

Интенсивность разложения целлюлозы в большой степени зависит от влажности и содержания азота в почве, и наиболее активно этот процесс происходит весной и осенью. Температура и тип почвы оказывают незначительное влияние на интенсивность данного процесса. Важное значение имеют агротехнические приемы, применяемые при возделывании культур. Разложение целлюлозы — важный процесс, обусловленный наличием органического вещества в почве, и, следовательно, он поддается регулированию.

МИКРООРГАНИЗМЫ, УЧАСТВУЮЩИЕ В СИНТЕЗЕ И РАЗЛОЖЕНИИ ГУМУСА

Почва от материнской породы отличается содержанием в ней органического вещества (гумуса), состав которого зависит от исходного ма-

териала (остатки растений, микроорганизмы и т. д.), а также биологических и биохимических процессов, происходящих при разложении и синтезе гумуса.

Гумусовые вещества — высокомолекулярные органические соединения кислотного характера. Наиболее важные из них — гуминовые кислоты, фульвокислоты и гумины. Гуминовые кислоты, содержащие высокое количество углерода, при взаимодействии со щелочными металлами образуют гуматы. Гуматы калия и гуминовые кислоты оказывают большое влияние на агрономические свойства почвы и питание растений. Фульвокислоты растворимы в воде, содержат высокое количество кислорода и водорода. Гуматы нерастворимы и являются основной стабильной частью гумуса, в которой накапливается значительное количество питательных веществ.

Плодородие почвы определяется количеством и составом гумуса. Он повышает поглощательную способность почвы, играет важную роль в структурообразовании и улучшает водно-физические свойства.

Почвы Болгарии, особенно возделываемые, содержат мало гумуса, поэтому необходимо приложить все усилия для сохранения и увеличения этого важного соединения.

Скорость разложения органических остатков в почве в большой степени зависит от их состава. Особо важную роль играет соотношение углерода и азота в растительных тканях. Низкое содержание азота в растительных остатках ограничивает скорость размножения микроорганизмов. Растительные остатки разлагаются активно, если содержат 1,5–1,7 % N при отношении C:N, равном 16:18. Минерализация органических остатков зависит также от количества других питательных веществ в почве. Установлено, что интенсивная минерализация происходит при C:P < 11. Наиболее благоприятное отношение C:N:P равно 100:8:1. Состав микрофлоры и микрофауны, участвующих в данном процессе, зависит от многих факторов. В каждой экосистеме имеются различные микроорганизмы, и это обуславливает получение различных конечных продуктов (гумусовых веществ).

В почве и особенно в почве агроэкосистем попадают корневые остатки, которые подвергаются минерализации.

По данным Клауса (1971), четырехмесячные злаковые растения образуют 241 км корней и ежедневно по $111,8 \times 10^6$ м корневых волосков, живущих в течение недели. Корни растений разлагаются труднее, чем надземные части. По данным Вайду (1972), корни злаковых разлагаются на 33–32%, бобовых — на 55–70%. Процессы разложения протекают наиболее интенсивно в первые 2–3 месяца после заделки их в почву. В них принимают участие бактерии, актиномицеты, грибы и различные представители микрофлоры.

Количество и состав гумуса в почвах зависит не только от состава растительных остатков, но и от процессов их минерализации. По мнению большинства исследователей [12, 39, 44, 131], гумусообразование обусловлено ферментативной активностью микроорганизмов, поскольку температурная кривая гумификации аналогична кривой ферментативных реакций. Участвующие в процессах минерализации микроорганизмы об-

разуют темные гумусоподобные соединения, похожие на гуминовые кислоты, способствуют синтезу гумуса. Почти все (99%) питательные и энергетические запасы почвы — результат деятельности микроорганизмов. Роль микроорганизмов оценивается в зависимости от их численности в почве и количества выделяемой ими энергии. Под травянистой растительностью, в слое почвы 0–10 см на площади 1 м² содержится 60 г грибного мицелия и 19,4 г бактериальных клеток [130]. Мнения об участии микрофлоры в процессах образования гумуса противоречивы. Участие микроорганизмов в гумусообразовании оценивается не по их численности, а по продуктивной скорости, т. е. по количеству накапливаемой в почве биомассы и по скорости, с которой она минерализуется.

Микрофлора участвует в синтезе и разложении гумуса в почве. По Виноградскому [21], гумус образуется под влиянием специфической микрофлоры, названной автохтонной, по мнению Теппер [98], — в результате деятельности бактерий родов *Bactoderma*, *Nocardia*, *Micromonospora* и др.

Микроорганизмы, участвующие в синтезе и разложении органического вещества, имеют большое значение для почвенного плодородия. Поэтому необходимо создавать условия, способствующие полному использованию питательных веществ органической части почвы при развитии растений. Это станет возможным после установления характера и последовательности основных микробиологических процессов, стимулирующих поступление усвояемых питательных веществ в почву и включение их в биологический круговорот.

В минерализующейся микробной массе отношение азота и углерода — 1:6,6. Большая часть питательных веществ — 3/4 — превращается в усвояемые формы, а 1/3 преобразуется в гумус. У растений, в тканях которых отношение азота к углероду колеблется в более широких пределах, основная часть органического вещества гумифицируется. Бедные азотом корневые и пожнивные остатки при разложении гумифицируются, причем иммобилизуется часть усвояемых питательных веществ из почвенных запасов. Следовательно, для процесса гумификации важное значение имеет, какая масса минерализуется — микробная или растительная и при каких условиях протекает минерализация. Это зависит от количества микрофлоры, участвующей в синтезе и разложении гумуса [41].

В почвах Болгарии были проведены исследования автохтонной микрофлоры, участвующей в гумусообразовании. Результаты исследований показывают, что к ней относятся аммонифицирующие бактерии, актиномицеты, почвенные микроскопические грибы, целлюлозоразлагающие микроорганизмы и др. Численность и активность микрофлоры, участвующей в разложении гумуса, изучены слабо, хотя в различных почвах и экосистемах проводились отдельные модельные и лабораторные эксперименты [41].

АЗОТФИКСИРУЮЩИЕ БАКТЕРИИ

Свободноживущие азотфиксаторы

На некоторых почвах даже без внесения азота в форме минеральных и органических удобрений получают высокие урожаи основных сельскохозяйственных культур. В связи с этим Костычев [46] высказал мнение, что в почвах обитают бактерии, способные фиксировать атмосферный азот.

Первыми были выделены бактерии рода *Azotobacter*. Сразу же после их открытия началось изучение их физиологии и географического распространения.

Развитие *Azotobacter* в значительной степени зависит от содержания в почве органического вещества, реакции среды, наличия фосфора, калия и т. д. Органические вещества почвы служат источником энергии для развития азотобактера. Если почва богата органическим веществом, то численность азотобактера в ней высока.

Как отмечал Кристенсен (1926), азотобактер встречается в основном в почвах с нейтральной реакцией. Существует тесная взаимосвязь между распространением азотобактера и содержанием калия в почве. Ваксман [137] на основании многочисленных исследований доказал, что в большинстве случаев отсутствие азотобактера — это результат кислой реакции почвенной среды. Установлено, что в почвах Болгарии при наличии оптимальных условий азотобактер развивается при $pH > 6$. Более кислая почва является основным фактором, тормозящим развитие этой бактерии.

Наличие фосфорной кислоты в почве абсолютно необходимо для развития азотобактера, поскольку фосфор стимулирует размножение бактерий и увеличивает их азотфиксирующую способность.

Калий также является необходимым элементом для *Azotobacter*. Почвы Болгарии достаточно им обеспечены, что содействует развитию бактерий.

В почвах азотобактер находится в различных, часто антагонистических взаимоотношениях с другими микроорганизмами. Антагонисты подавляют его развитие даже при благоприятных физических и химических свойствах почвы.

На численность азотобактера в почве влияет растительный покров, т. е. азотобактер находится в специфических взаимоотношениях с растениями. По Костычеву [46], бактерии, расположенные непосредственно в зоне корневой системы, создают благоприятные условия для развития азотобактера. Красильников [47] делит растения на три группы: стимулирующие, подавляющие и безразличные к азотобактеру.

Степень фиксации азотобактером атмосферного азота зависит от количества и характера источника углерода, физико-химических свойств почвы, активности распространенных штаммов и других факторов. Подсчитано, что в результате жизнедеятельности азотобактера в почву в среднем за год поступает 30-50 кг/га усвояемого азота.

В процессе жизнедеятельности, кроме фиксации азота, азотобактер способен выделять стимуляторы роста и антибиотики, улучшающие развитие растений и повышающие плодородие почв.

Многие бактерии могут фиксировать азот даже в анаэробных условиях. Широкое распространение и большое значение имеют анаэробные бактерии рода *Clostridium*. Они развиваются почти во всех почвах и являются факультативными анаэробами.

Из свободноживущих анаэробных азотфиксаторов наиболее широко в почвах Болгарии распространен *Az. chroococcum*.

Данные о распространении азотобактера очень важны, поскольку позволяют определить количество азота, поступающего в почву за счет биологической азотфиксации. При большом количестве азота, поступающем в почву, следует уменьшить дозу вносимых азотных минеральных удобрений. Культивирование активных штаммов азотобактера позволило начать производство бактериального удобрения — азотогена, с успехом используемого во многих странах.

В Болгарии изучается распространение в почвах страны азотобактера и *Cl. pasteurianum* [22, 27].

В возделываемых черноземах — высокая численность азотобактера, особенно в карбонатных типах почв, в типичных и выщелоченных черноземах она несколько снижается. Численность *Az. chroococcum* в черноземах существенно зависит от сезона и находится в отрицательной корреляции с количеством *Cl. pasteurianum*. В серых лесных почвах также происходят сезонные колебания численности азотфиксирующих бактерий. Количество *Cl. pasteurianum* в темно-серых лесных почвах примерно такое же, как и в черноземах, но снижается в серых и оподзоленных серых лесных почвах.

Az. chroococcum широко распространен в луговых коричневых почвах, меньше — в выщелоченных коричневых и полностью отсутствует в псевдоподзолистых (оподзоленных) коричневых почвах. *Cl. pasteurianum* густо заселяет луговые коричневые почвы.

Свободноживущие азотфиксаторы *Az. chroococcum* и *Cl. pasteurianum* широко распространены в почвах Болгарии. Их численность, а следовательно, и количество азота, поставляемого в усвояемой форме, возрастают при улучшении условий развития микроорганизмов в почве.

Средняя азотфиксирующая активность распространенных в стране штаммов азотобактера составляет 20 мг N/г глюкозы. В почвы, богато заселенные азотобактером, в результате азотфиксации ежегодно может поступать до 50 кг, а при слабом заселении — от 20 до 30 кг N/га. Эти цифры могут быть значительно выше, если учитывать площади, засеянные бобовыми культурами, стимулирующими развитие азотобактера.

В Болгарии проводятся исследования по использованию нитрагина под различные культуры. Результаты опытов обнадеживающие.

Клубеньковые бактерии

На корнях различных видов бобовых культур образуются клубеньки, содержащие специфичные для данного вида бактерии. Некоторые исследователи, учитывая эту специфичность, разделяют клубеньковые бактерии на следующие основные группы: клубеньковые бактерии клевера, гороха, вики, люцерны, люпина, сои, фасоли, эспарцета, белой акации, желтой акации.

Райчева [40] установила, что клубеньковые бактерии люцерны широко распространены в почвах Болгарии. Однако 75% изолированных и изучаемых рас неактивны или слабоактивны, и примерно 25% проявляют высокую активность. Внесение бактериальных удобрений, основу которых составляют активные расы клубеньковых бактерий, способствует росту урожайности.

Клубеньковые бактерии пелюшки широко распространены в почвах Болгарии. Клубеньковые бактерии фасоли, по данным Динчева [38, 40], также довольно часто встречаются в различных почвах, особенно в аллювиально-луговых и аллювиально-делювиальных луговых почвах.

По данным Райчевой [40], почвы Болгарии слабо заселены клубеньковыми бактериями сои. Обработка семян сои нитрагином способствует образованию клубеньков. Поэтому уже в течение нескольких десятилетий во многих странах при возделывании сои вносится нитрагин. Опыты по созданию нитрагина проводил академик В. Марков еще перед второй мировой войной. После изучения зарубежных и отечественных штаммов клубеньковых бактерий для производства нитрагина под сою в Болгарии предпочитают использовать советские штаммы.

Во многих странах нитрагин вносят и под другие бобовые культуры. В Болгарии эти исследования находятся в начальной стадии разработки.

МИКРООРГАНИЗМЫ, УЧАСТВУЮЩИЕ В ПРЕВРАЩЕНИЯХ СЕРЫ, ЖЕЛЕЗА, ФОСФОРА И ДРУГИХ ЭЛЕМЕНТОВ

Серобактерии

Сера необходима для синтеза аминокислот и белков растений, животных и микроорганизмов. В почве она находится в форме сульфатов, сульфидов и органических соединений. Под влиянием микроорганизмов органические серосодержащие соединения минерализуются, а неорганические окисляются или восстанавливаются. В почве окислительные процессы протекают в основном с участием бактерий рода *Tiobacillus*, окисляющих тиосульфаты, сероводород, сульфиды и др. Скорость процесса зависит от активности тиобактерий и окружающих условий. В окислении неорганических соединений серы принимают участие серобактерии родов *Beggiatoa*, *Thiospirillum*, *Thioploca* и др. Окисление серы осуществляется пурпурными и зелеными серобактериями, из которых наиболее изучены бактерии рода *Chromatium*. Необходимым условием для жизнедеятельности пурпурных и зеленых серобактерий является наличие SH_2 , который и определяет их распространение в почве. Из бактерий, окисляющих серу, готовят препараты для извлечения металлов из некоторых руд.

В плохих азириванных почвах происходит процесс сульфатредукции при участии бактерий рода *Desulfovibrio*, которые используют сульфаты в качестве акцепторов водорода в анаэробных условиях при окислении органических соединений серы (сульфатное дыхание). Этот процесс завершается неполным окислением серы и в ходе его выделяется ацетат, разрушающий некоторые минералы. Бактерии выделяют сероводород, который токсичен для растений. Основная полезная деятельность серобактерий заключается в том, что они накапливают в природе серу.

Железобактерии

Железо в почве находится в органической и минеральной формах. Микроорганизмы переводят в усвояемые для растений формы как органическое, так и неорганическое железо. Сначала под влиянием микроорганизмов происходит разложение органических железосодержащих соединений — ферментов, цитохромов, железопорфириновых соединений и т. д. Освобождение железа из органической формы может происходить как в аэробных, так и анаэробных условиях. В окислении железа участвуют железобактерии родов *Blastobacter*, *Hyphomicrobium* и др. и бактерии родов *Leptothrix*, *Crenothrix*, *Gallionella* и др. Это гетеротрофные и хемолитотрофные бактерии.

Железобактерии в больших количествах распространены в болотистых местностях и вокруг водоемов, т. е. в почвах, содержащих много солей железа. Под влиянием этих микроорганизмов соли железа превращаются в гидроокиси. Железобактерии — автотрофные микроорганизмы, использующие CO_2 из атмосферы. Они играют важную роль в превращении железа в почве. Исследования их численности и распространения в почвах Болгарии не завершены.

Микроорганизмы, окисляющие марганец

Микроорганизмы, окисляющие марганец в почвах, развиваются в анаэробных условиях, среди них наиболее изученными и описанными являются бактерии рода *Metallogenium*.

Микроорганизмы, участвующие в превращениях фосфора

Фосфор в почвах содержится в органической (85%) и минеральной формах. Он входит в состав фитина, нуклеиновых кислот, нуклеотидов, лецитина и гумуса. В почву фосфор поступает в окисленной форме с растительными и животными остатками. Микроорганизмы участвуют в минерализации органических фосфорных соединений и переводят их в доступную для растений форму.

В минерализации органических фосфатов (фитина, фосфолипидов, нуклеопротеидов и т. д.) участвуют бактерии родов *Pseudomonas*, *Bacillus*; семейств Actinomycetaceae и грибы рода *Penicillium* и др. Особенно большое количество органических фосфатов накапливается при внесении в почву фосфорных удобрений или при достаточном обеспечении почвы усвояемым фосфором. Тогда происходит так называемая биологическая иммобилизация фосфора: усвояемый фосфор используется микроорганизмами и включается в органические соединения микробной клетки. Установлено, что 8–10% фосфора, внесенного с удобрениями, подвергается иммобилизации.

Большие количества фосфора входят в состав почвенных минералов и недоступны или слабодоступны для растений. Многие микроорганизмы способны переводить такие соединения в растворимые формы. К ним относятся бактерии рода *Bacillus* (*B. megaterium*), грибы родов *Penicillium*,

Aspergillus и др. Некоторые микроорганизмы косвенно помогают этому процессу, выделяя кислоты, которые превращают фосфаты в растворимые формы. В процессе жизнедеятельности нитрифицирующих бактерий выделяется азотная кислота, а серобактерий — серная. Эти кислоты способствуют растворению нерастворимых фосфорных соединений в почве. Фосфорные бактерии играют важную роль в обеспечении растений усвояемым фосфором.

Результаты исследований, проведенных в Болгарии [30], показывают, что численность фосфорных бактерий в почвах этой страны достаточно велика. Они распространены в большом количестве в ризосфере многих культур и играют важную роль в фосфорном питании некоторых растений [27].

МИКРООРГАНИЗМЫ, УЧАСТВУЮЩИЕ В ДЕСТРУКЦИИ МИНЕРАЛОВ, ПРОЦЕССАХ ОГЛЕЕНИЯ, ОБРАЗОВАНИЯ МИНЕРАЛОВ

В процессах разложения минералов принимают участие различные микроорганизмы — бактерии, грибы, актиномицеты, водоросли и т. д. [12]. Бактерии носят общее название силикатных (Александров, 1953), грибы представлены видами рода *Penicillium* и *Aspergillus*.

Деструкция минералов осуществляется при непосредственном или косвенном участии микроорганизмов. При помощи ферментов, выделяемых в почву, или микробной слизи происходит разрушение кристаллической решетки минералов и освобождение химических элементов. Наиболее часто в результате ферментативных реакций разрушаются минералы, содержащие серу, железо и марганец. Микроорганизмы плотно покрывают минералы и своими продуктами метаболизма их разрушают.

Некоторые автотрофные бактерии (нитрифицирующие, серобактерии и др.) в процессе жизнедеятельности выделяют серную и азотную кислоты, разрушающие минералы. Кислоты также образуются гетеротрофными микроорганизмами и некоторыми микроскопическими грибами. Наиболее активно разрушает минералы группа так называемых силикатных бактерий. Эти бактерии выделяют *o*-дифенол, вступающий в реакцию с некоторыми элементами материнской породы, в результате чего образуют комплексные соединения [12]. Комплексообразование — основной фактор мобилизации фосфора. По данным Аристовской [12], некоторые железобактерии образуют с минералом лимонитом комплексные соединения, позволяющие извлекать железо из материнской породы.

По мнению некоторых исследователей [12, 39], большое влияние на разрушение труднорастворимых минералов оказывает хелатообразование.

Органические соединения, выделяющиеся в процессе жизнедеятельности микроорганизмов, либо взаимодействуют с элементами минералов, образуя комплексные соединения, либо непосредственно действуют на минералы, вызывая их разрушение. Среди основных продуктов метаболизма микроорганизмов сильными растворителями являются муравьиная, уксусная, пропионовая, лимонная и другие кислоты. Важную роль в процессе растворимости играют фенольные соединения и гуминовые кислоты. Низкомолекулярные кислоты — наиболее сильные раствори-

тели [45]. Они не накапливаются в почве, а сразу же используются определенными группами микроорганизмов. Несмотря на это, количество этих кислот необходимо также принимать во внимание, поскольку оно значительно при минерализации органических остатков в почве.

Некоторые микроорганизмы накапливают также метаболические продукты щелочного характера. Муромцев [66] считает, что труднорастворимые фосфаты разрушаются под воздействием щелочных продуктов метаболизма некоторых бактерий. Кутузова [49] пришла к выводу, что биологическим путем в почве накапливаются карбонаты, значительно повышающие щелочность почвы. По данным Аристовской [12], минералы разрушаются также под влиянием аммонифицирующих бактерий, уробактерий и т. д., способных образовывать такие сильные восстановители, как водород, сероводород, метан и другие соединения, участвующие в разрушении минералов.

Таким образом, микрофлора почвы принимает участие в разрушении многих минералов, обогащая почву усвояемыми питательными веществами из материнской породы.

ВЗАИМООТНОШЕНИЯ МЕЖДУ ПОЧВЕННЫМИ МИКРООРГАНИЗМАМИ И РАСТЕНИЯМИ

В присутствии растений в почве численность и состав микрофлоры значительно меняются, особенно в прикорневой зоне. Корни растений, улучшая химические и физические условия в почве, способствуют значительному повышению численности микрофлоры в этой зоне. Активное размножение микрофлоры ризосферы, состоящей в основном из бактерий, обусловлено наличием веществ, выделяемых корнями растений в течение вегетационного периода. Корневые выделения содержат различные органические кислоты, аминокислоты, углеводы и т. д., служащие источником питания для ризосферной микрофлоры, численность которой на возделываемых участках в несколько раз больше, чем в почве без растений. В ризосфере, где накапливаются корневые выделения и разлагаются корневые волоски, влажность примерно на 1–2% выше, а реакция среды нейтральная даже в кислой почве. В ней содержится больше продуктов метаболизма и выше концентрация ферментов, ауксинов, витаминов, аминокислот и других биологически активных веществ. В зоне ризосферы в результате увеличения численности микрофлоры значительно возрастает интенсивность микробиологических процессов. По данным Красильникова [47], трикальцийфосфат, находящийся в недоступном состоянии в стерильной почве, благодаря ризосферной микрофлоре становится доступным. В этой зоне также повышается растворимость железистых и магниевых соединений. Эти данные свидетельствуют о способности микроорганизмов ризосферы менять интенсивность процессов, связанных с улучшением условий питания растений.

В зависимости от вида растения, фазы его развития, почвенных условий и агротехнических приемов складываются взаимоотношения микроорганизмов с растениями. Например, взаимоотношения азотобактера

с растениями в основном определяются видом растений и в меньшей степени типом почвы. Бобовые, рис, табак и другие культуры стимулируют развитие этих бактерий, а хлопчатник — тормозит.

Примером позитивного взаимоотношения микроорганизмов с растениями служит симбиоз между клубеньковыми бактериями и бобовыми культурами, при котором растения получают значительную часть необходимых питательных веществ от микроорганизмов. В этом случае можно говорить о *симбиотрофизме*, т. е. о благоприятном взаимодействии микроорганизмов и растений, между которыми возникли симбиотические отношения. Ещё не так давно большое значение придавалось истинному симбиозу между бактериями и растениями. В настоящее время известно, что для питания очень важны любые взаимоотношения между растениями и микроорганизмами.

Микроорганизмы ризосферы питаются корневыми выделениями и, в свою очередь, выделяют метаболиты или синтезируют доступные для растений питательные вещества. По мнению некоторых исследователей [47], микроорганизмы могут становиться конкурентами растений, поскольку в процессе развития используют питательные вещества почвы. Однако такие опасения необоснованны, поскольку биологическое закрепление, т. е. использование минеральных питательных веществ бактериальными клетками и превращение их в органические формы, — временное явление. Заключенные в клетки бактерий вещества становятся питательным резервом почвы. При минерализации микробной биомассы почва обогащается усвояемыми питательными веществами, поступающими из биологического фонда.

Микроорганизмы поставляют растениям также стимулирующие их развитие биологически активные вещества. Почва в зоне ризосферы богата витаминами, ауксинами, аминокислотами и другими веществами, выделяемыми микроорганизмами. Кроме того, микроорганизмы в ризосфере некоторых растений выделяют антибиотики, предохраняющие растения от болезней. Тесные взаимоотношения между бактериями и растениями определяют так называемое бактериотрофное питание растений.

В природе часто встречается сожительство растений с грибами. Около и на поверхности корней многих деревьев и других растений развиваются грибы, образуя так называемую микоризу. Микоризообразующие грибы снабжают растения питательными веществами, полученными при разложении растительных остатков и почвенного гумуса. Микоризные грибы значительно увеличивают поверхность соприкосновения растений с почвой и создают условия для лучшего поглощения питательных веществ. Взаимоотношения между корнями и грибной микрофлорой до настоящего времени изучены еще недостаточно.

Кроме взаимовыгодных отношений между микроорганизмами и растениями, в природе встречаются противоположные формы, например паразитизм. Паразитизм возникает особенно часто в севообороте с монокультурами. В результате этого происходит накопление фитопатогенных микроорганизмов, приводящее к утомлению почвы. Эти микроорганизмы вызывают болезни растений или, выделяя токсические вещества, тормозят

развитие растений и в результате — формирование урожая. Борьба с этим явлением обычно заключается в правильном чередовании культур.

Пошон и др (1961) считают, что ризосфера населена преимущественно непатогенными микроорганизмами. При вспышке заболевания соответствующий патогенный вид накапливается в значительных количествах около корней заболевшего растения. Патогенные микроорганизмы вступают в антагонистические отношения с другими микроорганизмами, что оказывает влияние на плотность популяции и активность вредных для растений видов. Численность и состав микрофлоры в значительной степени зависит от характера заболевания растения. Так, в ризосфере растений, восприимчивых или зараженных фузариозом, накапливается больше бактерий, актиномицетов и почвенных грибов, чем в ризосфере устойчивых и незараженных видов. В ризосфере растений табака, пораженных черной корневой гнилью, численность микроорганизмов значительно больше, чем в ризосфере здоровых растений [3]. Однако следует отметить, что ризосфера служит чем-то вроде микробиологической буферной зоны, в которой микрофлора не только улучшает питание растений, но и предохраняет их от патогенных микроорганизмов.

Микроорганизмы ризосферы играют защитную роль, используя продукты метаболизма, выделяемые растениями в период вегетации, и освобождают от них почву корневой зоны.

Известно, что в отсутствие микрофлоры растения могут расти и питаться, однако процессы развития и воспроизводства их резко заторможены. Ризосферная микрофлора, по-видимому, принимает участие не только в поставке, но и в усвоении питательных веществ растениями. Установлено, что растение само "определяет" численность и видовой состав ризосферной микрофлоры. По мнению некоторых исследователей [47], корневые выделения растений — это фактор, имеющий первостепенное значение при определении численности и состава ризосферной микрофлоры. Результаты исследований, проведенных в Болгарии, показали, что содержание аминокислот в корневых выделениях не является характерным показателем ризосферной микрофлоры у растений [27]. Показано, что аминокислотный состав корневых выделений у различных растений неодинаков. Так, в корневых выделениях овса в наибольшем количестве обнаружены аминомасляная кислота и триптофан; пшеницы — аминомасляная кислота, триптофан, глутамин и аланин; фасоли — аминомасляная кислота и тирозин; люцерны — глутамин, треонин, пролин, тирозин и валин. При выращивании растений на оптимально удобренных площадях характер изменения количественного содержания и состава аминокислот в корневых выделениях и в самой микрофлоре аналогичен. Под влиянием удобрений происходят изменения численности и состава ризосферной микрофлоры. Наиболее часто меняются соотношения между отдельными группами или видами микроорганизмов. Следовательно, корневые выделения влияют на ризосферную микрофлору, но не являясь при этом основным фактором, определяющим ее численность и состав.

На численность и состав ризосферной микрофлоры влияют и почвенно-климатические условия. Изменение почвенных условий под влиянием различных агротехнических приемов отражается на жизнедеятельности

ризосферной микрофлоры. Болгарскими исследователями [27, 30] изучаются изменения численности и активности ризосферной микрофлоры под влиянием агроприемов с целью направленного воздействия на микроорганизмы. Для изучения влияния растений и почвенных условий на ризосферную микрофлору были проведены вегетационные опыты с шестью культурами — фасолью, кукурузой, пшеницей, хлопчатником, томатами и перцем, высеянными в песок (контроль) с питательной смесью Гельригеля. Параллельно при одинаковом водном режиме и других прочих условиях растения выращивали на смолнице и коричневой лесной почве. Ризосферную микрофлору этих растений изучали в корневой, прикорневой и ризосферной зонах.

Полученные результаты показывают, что тип почвы незначительно влияет на ризосферную микрофлору, тогда как растения оказывают значительное влияние на ее численность и состав. Численность бактерий, источником питания которых служит органический или минеральный азот, различается в зависимости от зоны ризосферы, а также от вида растения (рис. 5, 6). Растения влияют и на соотношение бактерий, использующих органический или минеральный азот, которое в контрольном варианте (почва без растений как смолница, так и коричневая лесная) равно 1:1. Изменение этого соотношения под влиянием определенного вида растений свидетельствует об их специфическом воздействии на микроорганизмы ризосферы. Следовательно, в зависимости от потребности в азоте растения в определенной степени могут регулировать численность и состав ризосферной микрофлоры, которая играет важную роль в снабжении их усвояемым азотом.

Растения влияют также на численность бактерий ризосферы, которые переводят в усвояемые формы труднорастворимые органические и неорганические фосфорные соединения. Численность этих бактерий в ризосфере вегетирующих растений меняется независимо от типа почвы. При сравнении численности бактерий, использующих органические и минеральные формы азота (см. рис. 5, 6) или фосфора (рис. 7) у различных растений, отмечается следующее: непосредственно на корнях хлопчатника, томатов и перца увеличивается количество бактерий, использующих минеральные формы азота и труднорастворимые фосфаты; в корневой зоне фасоли, кукурузы и пшеницы относительно высоко количество бактерий, использующих органические формы азота и минеральные формы фосфора. Следовательно, в одной и той же ризосферной зоне наблюдается тенденция к одновременному увеличению бактерий, связанных как с минеральными формами азота, так и с трудноусвояемыми фосфатами, или бактерий, использующих органические формы азота и минеральные формы фосфора. Вполне вероятно, что благодаря ризосферной микрофлоре растения приобретают способность активно развиваться при наличии в почве различных форм азота и фосфора, причем достаточное количество доступного азота позволяет им использовать больше органических форм фосфора, и наоборот.

Микрофлора в ризосфере представлена в основном бактериями (до 99%), тогда как актиномицеты и грибы встречаются довольно редко. Среди бактерий преобладают виды, участвующие в процессах минерализации. Нитрифицирующие, целлюлозоразлагающие, азотобактер и другие



Рис. 5. Влияние почв и корневых систем различных культур на численность бактерий, усваивающих минеральный азот:

I – корневая зона; II – прикорневая зона; III – ризосфера; 1 – смолнища; 2 – песчаная почва; 3 – коричневая лесная почва.

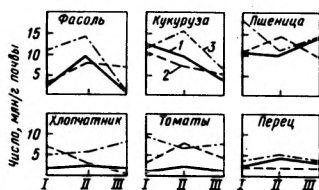
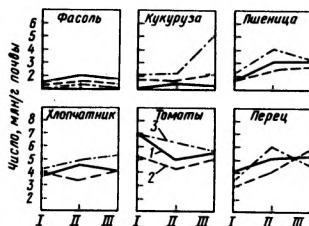


Рис. 6. Влияние почв и корневых систем различных культур на численность бактерий, использующих органический азот:

I – корневая зона; II – прикорневая зона; III – ризосфера; 1 – смолнища; 2 – песчаная почва; 3 – коричневая лесная почва.

Рис. 7. Влияние почв и корневых систем различных культур на численность бактерий, разлагающих труднодоступные фосфаты:

I – корневая зона; II – прикорневая зона; III – ризосфера; 1 – песчаная почва; 2 – смолнища; 3 – коричневая лесная почва.



бактерии реже встречаются в ризосфере растений. Численность нитрифицирующих бактерий существенно меняется в зависимости от типа почвы и незначительно – под влиянием растений [30, 47].

Следовательно, в определенных условиях развития растений проявляется избирательность к ризосферной микрофлоре, которая выражается в увеличении некоторых групп бактерий в почве непосредственно на корнях или на расстоянии 3–5 мм от них.

Численность ризосферной микрофлоры и накопление полезных микроорганизмов зависят от условий питания растений. Большое значение имеет активность микроорганизмов, а не их количество. В зоне ризосферы растений создаются особые условия, отличающиеся от окружающих, что сказывается на физиологических особенностях микроорганизмов. Активность аммонифицирующих бактерий довольно низкая в ризосфере, особенно в корневой зоне. Следовательно, в этой зоне необходимо увеличить количество микроорганизмов, способствующих азотному питанию растений, путем внесения дополнительного источника питания, т. е. органических и органо-минеральных удобрений [27].

Под влиянием агротехнических приемов в ризосфере растений меняется численность фосфорных бактерий. Фосфатазная активность бактерий, изолированных из почвы без растений и ризосферы, существенно не

различается. Следовательно, в фосфорном питании растений главную роль играет количество находящихся в ризосфере микроорганизмов.

На популяции нетипичных ризосферных микроорганизмов — азотфиксирующих, целлюлозоразлагающих и нитрифицирующих — растения не оказывают непосредственного влияния. Основной фактор, влияющий на эти микроорганизмы, — почва. Агротехнические приемы (удобрение, полив и т. д.) приводят к значительным изменениям численности этих бактерий в почве, но к небольшим — в ризосфере растений. Исследования активности азотобактера и его способности выделять витамин В₁₂ показали, что под влиянием растений и агроприемов меняются его физиологические особенности. Так, в одной и той же почве количество витамина В₁₂, выделяемого азотобактером, в значительной степени зависит от вида растения. Азотобактер из ризосферы пшеницы, выращиваемой на удобряемых площадях, выделяет в 3 раза меньше витамина В₁₂, чем такой же штамм, но развивающийся в удобренной и известкованной почве. Среди растений, выращиваемых при одинаковом почвенном режиме, пшеница имеет наибольшую численность антагонистов азотобактера по сравнению с люцерной, кукурузой и другими культурами. Однако численность антагонистов азотобактера в ризосфере пшеницы снижается при выращивании растений на оптимально удобренных площадях. Штаммы *Az. chroococcum*, изолированные из ризосферы растений, выделяют большие количества гиббереллина и β-индолил-уксусной кислоты [22]. Следовательно, для повышения полезного эффекта типичной ризосферной микрофлоры, пока он обусловлен азотным и фосфорным питанием растений, необходимы мероприятия, способствующие увеличению численности этих микроорганизмов.

Исследования ризосферной микрофлоры, а также факторов и приемов, оказывающих на нее влияние, позволяют выяснить основные закономерности регуляции жизнедеятельности микрофлоры с целью повышения ее значения в питании растений. Особенно это относится к основным сельскохозяйственным культурам, где выяснение этих вопросов позволит проводить агротехнические мероприятия, улучшающие взаимоотношения между микрофлорой и растением.

В литературе немало данных о распространении микроорганизмов в ризосфере и корневой зоне различных растений [2, 19]. Это относится как к количеству, так и к видовому их составу, показывает значение микрофлоры для роста и развития растений.

В Болгарии проводятся исследования по изучению состава и численности микроорганизмов в прикорневой зоне растений. Динчев [40], исследовав ризосферу кукурузы, высказал предположение, что количество ризосферных бактерий зависит от корневых выделений этой культуры и от типа почвы. Радучев [82] и Пешков [74], изучая микрофлору ризосферы винограда, установили, что максимум численности аммонифицирующих и денитрифицирующих бактерий приходится на фазу цветения.

Проведены исследования ризосферной и корневой микрофлоры пшеницы в фазы кушения и колошения и кукурузы во время цветения [2, 7, 54].

При внесении азотных и фосфорных удобрений в ризосфере пшеницы

возрастает суммарная биологическая активность за счет увеличения численности микрофлоры и перегруппировки основных форм бактерий, что благоприятно сказывается на развитии пшеницы.

При возделывании пшеницы в монокультуре значительно возрастает численность бактерий, использующих минеральные формы азота, достигая 70–80% общего количества микроорганизмов. Возрастает также количество актиномицетов и спорообразующих бактерий, переводящих усвояемый азот в сложные и трудноминерализуемые органические соединения. В результате отмечается снижение урожайности пшеницы.

В ризосфере пшеницы, возделываемой после подсолнечника и кукурузы, высока численность аммонифицирующих микроорганизмов (рис. 8). После гороха увеличивается доля микрофлоры, участвующей в процессах минерализации, а количество спорообразующих видов снижается почти наполовину, в корневой зоне пшеницы также возрастает численность аспорогенных бактерий рода *Pseudomonas*. Как активные аммонификаторы эти бактерии, вероятно, способствуют поступлению усвояемого азота в почву и накоплению определенных продуктов метаболизма — ростовых веществ. Следовательно, горох в качестве предшественника пшеницы вызывает благоприятные изменения в количестве и составе ризосферной микрофлоры. Аналогичные результаты были получены и при возделывании пшеницы по пару.

В ризосфере пшеницы, возделываемой после кукурузы, подсолнечника и гороха, также усиливается интенсивность процессов минерализации. В этой зоне возрастают суммарная биологическая и аммонифицирующая

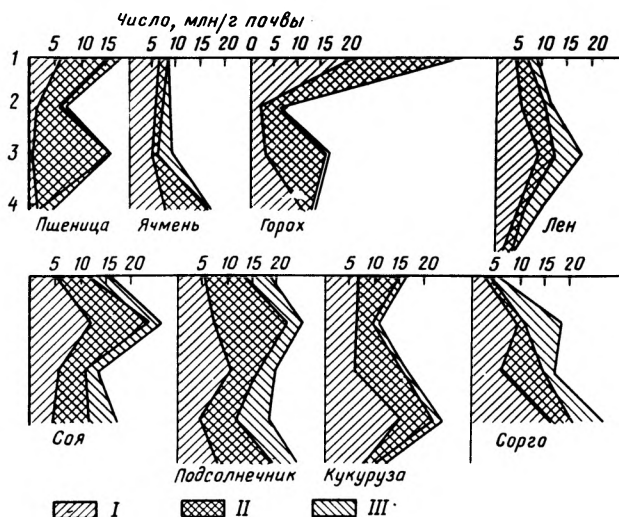


Рис. 8. Численность бактерий: аммонифицирующих (I), усваивающих минеральный азот (II), и актиномицетов (III), в ризосфере различных культур.

шая активность почвы, что положительно сказывается на развитии пшеницы и на ее урожайности [2]. Установлена положительная корреляция между урожайностью пшеницы и численностью ризосферной микрофлоры, участвующей в процессах минерализации.

В ризосфере и корневой зоне кукурузы и пшеницы в монокультуре отмечается тенденция к приросту микрофлоры, усваивающей минеральные формы азота.

В ризосфере кукурузы, возделываемой в севообороте по сравнению с монокультурой увеличивается численность аммонифицирующих микроорганизмов. Наиболее четко это выражено после гороха и пара, где численность аммонифицирующих бактерий достигает 80% от общего количества ризосферной и корневой микрофлоры. В зависимости от условий возделывания в ризосферной микрофлоре кукурузы происходят изменения, определяющие урожайность этой культуры.

Микрофлора ризосферы табака изучена довольно слабо. Большинство результатов относится к отдельным видам бактерий. Еще Костычев и др. [46] установили, что *Az. chroococcum* приспособлен к ризосфере табака и является как бы его спутником. Красильников [47] относит табак к растениям, которые не подавляют развитие этих бактерий. Ампова [4] изучала бактериальную флору табака. Исследования, проведенные Войновой-Райковой [22] и Гущеровым [34, 35], показали, что *Az. chroococcum* встречается в больших количествах в почвах табачных плантаций.

Ампова [4] установила, что ризосферная корневая микрофлора табака изменяется в течение вегетационного периода (табл. 1, 2). В начале вегетации ее численность невысока, но значительно увеличивается во время цветения растений, т. е. в период наиболее интенсивно протекающих жизненно важных процессов. В конце вегетации численность бактерий и актиномицетов также весьма значительна, что, по-видимому, вызвано увеличением количества корневых остатков в ризосфере и накоплением органической массы, подлежащей разложению.

В период цветения в ризосфере и корневой зоне хорошо развитых растений табака встречается большое количество аспорогенных флуоресцентных бактерий семейства *Pseudomonaceae*. Среди них многие активно продуцируют питательные и ростовые вещества с высокой биологической активностью. У отстающих в развитии растений табака численность аспорогенных флуоресцентных бактерий в ризосфере значительно меньше, а в корневой зоне встречаются в основном спорообразующие бактерии.

1. Численность аспорогенных флуоресцентных бактерий в ризосфере табака, данные 1965 г.

Зона	До цветения	В период массового цветения	В конце вегетации
Ризосферная	2670	2770	2,560
Корневая	2100	6466	5,066

* В тыс. на 1 г сухой почвы.

2. Численность микроорганизмов в ризосфере рассады табака, данные 1975 г.

Зона	Бактерии, усваивающие органический азот			Бактерии, усваивающие минеральный азот	Актиномицеты	Грибы
	общее количество	аспорогенные	спорообразующие			
Гумусно-карбонатная почва						
Ризосферная	20,6	20,3	0,19	26,4	0,5	0,03
Прикорневая	327,0	324,0	3,30	314,0	6,0	—
Корневая	33,0	33,0	—	65,0	—	—
Коричневая лесная почва						
Ризосферная	80,0	77,0	1,99	52,0	4,2	0,09
Прикорневая	363,0	355,0	3,00	260,0	13,0	—
Корневая	100,0	100,0	—	160,0	1,0	—

* В тыс. на 1 г сухой почвы.

Этот факт можно объяснить торможением развития табака вследствие нарушения биологического равновесия в составе ризосферной микрофлоры, что подтверждает взаимозависимость между ризосферной микрофлорой и питанием и развитием данной культуры.

В ризосфере табака количество *Az. chroococcum* также увеличивается. Высокую численность этих бактерий в ризосфере Войнова-Райкова [22] объясняет способностью табака подавлять развитие антагонистов азотобактера [30].

Из вышесказанного становится ясным, что под влиянием растительности меняются численность и состав микроорганизмов, а следовательно, и интенсивность процессов, в которых они участвуют. Такие изменения — результат взаимодействия растений и микроорганизмов — определяют степень развития и питание культур. В связи с этим необходимо проводить изучение микрофлоры ризосферы для разработки приемов, благоприятно влияющих на ее развитие и состав, и, следовательно, на улучшение питания растений и получение высоких урожаев. Правильное возделывание культур имеет решающее значение для создания позитивных взаимоотношений между растениями и почвенной микрофлорой. Так, в севообороте предшественник служит средством целенаправленного изменения ризосферной микрофлоры и улучшения питания растений.

ИЗМЕНЕНИЕ ПОЧВЕННОЙ МИКРОФЛОРЫ ПРИ ВНЕСЕНИИ УДОБРЕНИЙ

Численность и состав микрофлоры зависят от физико-химических свойств почвы и в естественных условиях меняются в определенном ритме в зависимости от изменения климата, растительности и т. д.

Изменения структуры и свойств почвы, происходящие при применении различных агроприемов, а также наличие корневых и пожнивных остатков оказывают существенное влияние на почвенную микрофлору. Внесенные в почву пестициды наиболее часто вызывают непродолжительное или длительное ингибирование численности микрофлоры, однако вслед за этим почвенно-биологическое равновесие восстанавливается и стабилизируется.

Урожайность сельскохозяйственных культур увеличивается с ростом доз удобрений, внесенных на единицу площади, причем дозы определяются в зависимости от обеспеченности почвы питательными веществами, выноса питательных веществ единицей продукции различных сельскохозяйственных культур, запланированного урожая и др.

По данным Станчева и др. [94], в пахотном слое обрабатываемых карбонатных, типичных, выщелоченных черноземов и смолниц обычно содержится 3–5% гумуса и 0,1–0,3% азота, тогда как в луговых, коричневых и бурых лесных почвах — меньшее количество гумуса и азота, т. е. запасы азота и содержание гумуса в почвах немалые, но несмотря на это, одним из основных мероприятий в интенсивном земледелии, направленном на получение высоких урожаев, является применение минеральных удобрений, особенно азотных.

Содержание суммарного фосфора наиболее высоко в карбонатных и типичных черноземах (0,118–0,239% P_2O_5), в оподзоленных черноземах оно составляет 0,11–0,14% P_2O_5 , в серых лесных почвах — 0,077–0,129, аллювиально-луговых — 0,03–0,06 и луговых коричневых — 0,043–0,094% P_2O_5 [40, 94]. Основная часть фосфора находится в органических или труднорастворимых соединениях, которые имеют различную степень усвояемости. Однако в последние годы во многих районах Болгарии повышается содержание подвижных фосфатов вследствие ежегодного применения фосфорных удобрений; при таком оптимальном удобрении фосфором урожайность большинства сельскохозяйственных культур значительно повышается.

Содержание калия в почвах Болгарии варьирует в широких пределах. Преобладают почвы с очень высоким содержанием калия [40]. Однако несмотря на такую высокую обеспеченность почв калием, ежегодное внесение высоких доз азотных и фосфорных удобрений, интенсивное использование площадей и систематический рост урожайности сельскохозяйственных культур приводят к снижению запасов калия. Вопрос о применении калийных удобрений становится актуальным, особенно в районах интенсивного земледелия, где возделывают в основном технические и многолетние культуры, а также на орошаемых площадях при выращивании овощных культур.

Под влиянием удобрений в численности и составе микрофлоры происходят изменения, зависящие от доз вносимых удобрений, сроков внесения, культуры и типа почвы. Эти изменения различаются по объему и времени проявления, поэтому необходимо проводить изучение развития микрофлоры и интенсивности микробиологических процессов в динамике.

В последние годы проведены многочисленные исследования влияния минеральных и органических удобрений на почвенную микрофлору [5,

24, 32, 62, 76]. Полученные результаты о воздействии удобрений на численность, видовой состав микроорганизмов и на интенсивность микробиологических процессов носят иногда противоречивый характер. Некоторые исследователи [97, 131] считают, что с увеличением доз минеральных удобрений интенсивность микробиологических процессов возрастает. Мишустин [59] установил стимулирующее действие невысоких, и ингибирующее — высоких доз минеральных удобрений на численность почвенных микроорганизмов. Степень воздействия различных доз и видов удобрений на микрофлору и биохимическую активность почвы зависит от физико-химических особенностей, характерных для данного типа почвы [27, 71].

В некоторых странах в качестве удобрения используют торф, который служит источником органического вещества и обогащает почву питательными элементами [64]. В неразложившемся или слаборазложившемся торфе количество легкоусвояемых питательных веществ незначительно. Для ускорения разложения его рекомендуется компостировать с навозом или фекалиями. Компостирование создает благоприятные условия для активизации микроорганизмов, ускорения минерализации и обогащения компоста легкоусвояемыми питательными веществами.

Эффективность удобрений торфом некоторых овощных культур, выращиваемых в Болгарии, оценивали по его влиянию на почвенную микрофлору [37]. Результаты исследования показали, что в сравнении с минеральным удобрением $N_{100}P_{100}$, торф (при внесении 20 т/га) медленно и слабо активизирует развитие почвенной микрофлоры (бактерий, актиномицетов, грибов). Минерализация торфа протекает слабее, чем навоза, чему способствует углеродный комплекс торфа, отличающийся высокой биохимической устойчивостью.

Внесение навоза, благоприятно сказывающегося на микрофлоре и микробиологических процессах в почве, — одно из основных мероприятий, улучшающих биологические свойства почвы. Однако количество навоза ограничено, его не хватает для нужд сельского хозяйства. Поэтому основное внимание следует уделять исследованиям влияния минеральных удобрений на микрофлору почвы.

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ И ДОЗ УДОБРЕНИЙ НА МИКРОФЛОРУ ПОЧВЫ

Азотные удобрения

Азот в форме различных соединений по-разному влияет на развитие почвенных микроорганизмов [16, 27]. При внесении аммонийных удобрений, например, значительно возрастает численность бактерий [90]. Аммиачная вода стимулирует развитие бактерий (аммонифицирующих, нитрифицирующих, а также использующих минеральный азот), актиномицетов (с белым, бесцветным, серым и особенно с красным мицелием) и грибов (рода *Penicillium*, *P. nofatum*, *P. cyclopium*, *P. clavigerum*) [90]. Аналогичные результаты были получены в исследованиях Нейберга и др. (1961). После внесения безводного аммиака развитие почвенных микро-

организмов ингибируется вследствие повышения концентрации аммонийного азота в почве [90]. Аммиачная вода при норме N_{120} в первые 24 ч после внесения не ингибирует развитие микроорганизмов. Чувствительными к этому удобрению оказываются лишь микроскопические грибы — их численность снижается на следующий же день после внесения аммиачной воды. Значительное снижение численности микроскопических грибов отмечали Эно и др. (1961), когда концентрация аммиачного азота превышала 365 мг/кг почвы. Показано, что через сутки после внесения аммиачной воды количество аммиачного азота достигает 289–440 мг/кг абсолютно сухой почвы, чем объясняется ингибирование развития грибов [90, 97].

Сульфат аммония слабо влияет на почвенную микрофлору. При внесении его в дозе 120–200 кг/га численность микроскопических грибов снижается [90]. По-видимому, это обусловлено наличием в данном удобрении сульфатов, к которым чувствительны именно почвенные грибы.

При внесении карбамида активизируется преимущественно развитие бактерий, актиномицетов. Наиболее сильно возрастает численность бактерий рода *Pseudomonas*, причем даже при разовой дозе 120 кг N/га. Численность бактерий, использующих минеральный азот, в течение некоторого промежутка после внесения карбамида также сильно увеличивается [30, 90].

Удобрение почвы аммиачной селитрой, содержащей азот как в нитратной, так и в аммиачной форме, активизирует развитие микроорганизмов.

Нитрат натрия слабо влияет на развитие отдельных групп почвенных микроорганизмов. Он в основном активизирует размножение бактерий, использующих минеральный азот, а также грибов, численность которых максимально возрастает на 14-й день после внесения нитрата натрия.

Фосфорные удобрения

Фосфорные удобрения оказывают существенное влияние на почвенную микрофлору, хотя в меньшей степени, чем азотные. Ежегодное применение фосфорных удобрений, особенно в районах интенсивного земледелия, где их вносят в высоких дозах, влияет не только на продуктивность растений и плодородие почвы, но и на микробиологические процессы в почве [79, 77 и др.].

Как показывают результаты исследований [27, 30], после внесения фосфора существенно увеличивается общая биологическая активность, возрастает количество выделяемого CO_2 : значительно — на легких аллювиально-луговых почвах, меньше — на тяжелых сильно выщелоченных луговых коричневых почвах и выщелоченных смолницах (рис. 9). Количество выделенного CO_2 повышается с возрастанием дозы удобрения до P_{240} и снижается при высоких нормах P_{960} .

Внесение фосфора на фоне азота также стимулирует общую биологическую активность. Выделение CO_2 в почвенный воздух возрастает более значительно, чем при раздельном внесении фосфора и азота. Совместное внесение фосфора и азота, увеличивая биологическую активность почвы, позволяет использовать более высокие дозы фосфора.

Совместное использование азота и калия положительно влияет на

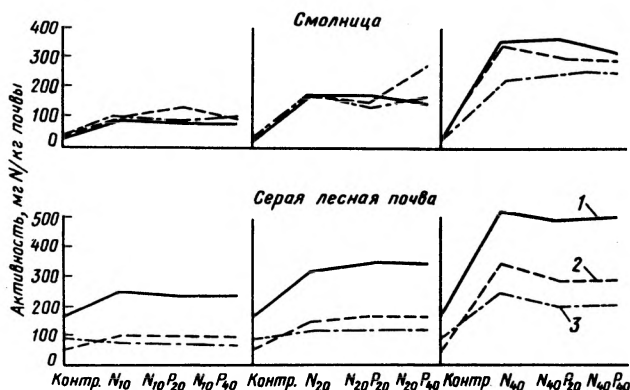


Рис. 9. Влияние карбамида на аммонифицирующую активность смолиницы и серой лесной почвы:

через один (1); два (2), три (3) месяца после внесения карбамида.

биологические свойства почвы, удобренной фосфором. При соотношении питательных веществ в удобрении, равном 1:1:1, намного увеличивается общая биологическая активность, особенно при внесении $N_{480}P_{480}K_{480}$ [28]. Следовательно, при высоких дозах фосфорных удобрений, возрастающих при совместном внесении с азотными и калийными, биологическая активность почвы увеличивается.

Фосфор оказывает различное воздействие на численность отдельных групп микроорганизмов. Активируется развитие бактерий, минерализующих азотсодержащие соединения, т. е. усиливаются процессы, связанные с минерализацией почвенного азота. С возрастанием количества фосфора в почве численность бактерий, участвующих в превращении минеральных и органических фосфорных соединений, снижается. Следовательно, можно ожидать, что при применении фосфорных удобрений возрастет биологическая трансформация соединений фосфора в почве и активируется трансформация азота [86]. Приведенные выводы подтверждаются данными об изменении ризосферной микрофлоры при внесении различных видов удобрений [8]. Под овощные культуры вносят высокие дозы фосфора — до 480 кг P_2O_5 /га [86]. При внесении фосфорных удобрений на фоне N_{240} стимулируется размножение бактерий, участвующих в превращении органических и минеральных соединений азота, фосфора и калия, т. е. активизируются биологические процессы, сопряженные с мобилизацией и иммобилизацией азота, фосфора и калия.

На фоне калия фосфор активизирует размножение бактерий, минерализующих органические азотсодержащие соединения в почве, т. е. усиливает процессы минерализации. Однако фосфор оказывает незначительное влияние на активность бактерий, участвующих в превращениях почвенного фосфора, т. е. дополнительное поступление фосфора из нерастворимых форм не происходит.

Под влиянием фосфорных удобрений увеличивается численность

аммонифицирующих бактерий и актиномицетов, минерализующих органические вещества в почве. Аммонифицирующие бактерии участвуют в минерализации легко растворимых, а актиномицеты — труднорастворимых органических соединений. Следовательно, поступление в почву фосфора происходит за счет высвобождения его из органических соединений. Что касается влияния фосфорных удобрений на отдельные микроорганизмы, то при раздельном внесении фосфора (до 480 кг P_2O_5 /га) повышается численность бактерий и снижается — актиномицетов, т. е. увеличивается интенсивность процесса разложения легкоминерализующихся органических соединений. Систематическое увеличение доз удобрений приводит к снижению численности бактерий и увеличению — актиномицетов. Аналогичные закономерности наблюдаются при внесении фосфора на фоне калия, а также при одновременном внесении возрастающих доз фосфора совместно с калием. Независимо от количества внесенного фосфора на азотном фоне численность бактерий всегда высокая. Следовательно, внесение низких и средних доз только фосфорных удобрений или на фоне азота и калия вызывает ускорение процессов разложения легкоминерализующихся органических веществ, тогда как высокие дозы фосфора интенсифицируют процессы разложения трудноминерализующихся органических соединений в почве.

Калийные удобрения

Ежегодное внесение большого количества азотных и фосфорных удобрений и систематическое повышение урожайности сельскохозяйственных культур приводят к снижению запасов калия в почвах Болгарии. В связи с этим вопросы о применении калийных удобрений становятся актуальными и имеют особенно важное значение в районах интенсивного земледелия, где дозы удобрений высоки.

Результаты микробиологических исследований удобрённых калием почв свидетельствуют о незначительном влиянии калия на численность микроорганизмов [91]. Однако после внесения больших доз калийных удобрений отмечается снижение численности микроорганизмов, которое продолжается еще месяц, а затем численность микрофлоры начинает возрастать. Такое явление наиболее заметно на выщелоченных луговых коричневых почвах, выщелоченных смолницах и т. д. Состав микрофлоры под действием калийных удобрений существенно не меняется, хотя несколько возрастает численность бактерий, а также актиномицетов и микроскопических грибов. Эти изменения показывают, что калийные удобрения стимулируют развитие микрофлоры, участвующей в минерализации трудно-разлагающихся форм органического вещества. По мнению Мишустина [64], актиномицеты и микроскопические грибы участвуют в основных фазах процесса минерализации. При внесении высоких доз калийных удобрений происходит ингибирование процессов жизнедеятельности бактерий, развитие которых связано с труднорастворимыми неорганическими фосфорными соединениями в почве. При внесении калийных удобрений на фоне азота наблюдается некоторое стимулирование развития бактерий, минерализующих органические фосфорные соединения. При сравнении

степени влияния различных видов минеральных удобрений на почвенную микрофлору следует отметить, что калийные туки занимают одно из последних мест, т. е. оказывают слабое влияние.

ВЛИЯНИЕ УДОБРЕНИЙ НА МИКРОФЛОРУ НЕКОТОРЫХ ПОЧВ БОЛГАРИИ

Карбонатные, типичные и выщелоченные черноземы

При внесении в карбонатные черноземы нитрата аммония в течение второй недели происходят существенные изменения в численности и составе почвенной микрофлоры [26, 27]. Увеличивается численность бактерий, основным источником питания которых служит минеральный азот, и незначительно аммонифицирующих, а также в некоторой степени увеличивается количество актиномицетов, т. е. при внесении удобрений в виде аммиачной селитры в карбонатном черноземе в основном увеличивается численность микроорганизмов, использующих минеральные формы азота и активно включающих его в клетки своего организма (биологическая иммобилизация). При внесении карбамида в таких же дозах, как аммиачной селитры, наблюдаются аналогичные изменения: значительно возрастает численность популяций, использующих для развития минеральный азот.

В черноземах при внесении фосфора на фоне азотных удобрений незначительно снижается численность аспорогенных аммонифицирующих бактерий, т. е. происходит некоторое торможение минерализации легко-разлагающихся органических веществ.

В заключение можно отметить, что на карбонатных черноземах раздельное внесение карбамида и аммиачной селитры приводит лишь к незначительному увеличению численности микрофлоры, участвующей в процессах минерализации, и к сильному росту микрофлоры, совершающей биологическую иммобилизацию на фоне фосфора. Азотные удобрения не влияют или слабо подавляют минерализацию азотсодержащих органических форм, но усиливают процессы иммобилизации. Различия в действии указанных двух видов удобрений на содержание в почве усвояемых азотистых питательных веществ отмечаются в основном сразу же после их внесения, когда накапливается аммиачный азот. Однако в связи с быстрой нитрификацией карбамида эти различия исчезают через 2–3 недели после его внесения.

Важное значение имеет не численность микроорганизмов, а количество микробной биомассы. Установлено, что основная часть микробной биомассы в почве состоит из бактерий. Биомасса, образованная из актиномицетов, грибов, водорослей, играет большую роль в процессах, протекающих в почве, однако методы ее определения сложны и пока не разработаны. Количество почвенной биомассы характеризует массу питательных веществ, которые могут поступить в почву после завершения процесса минерализации. В почве биомасса разлагается наиболее быстро и полно [32, 96]. Данные о количестве микробной биомассы в почве весьма приблизительны, поскольку они относятся лишь к бактериальной массе, тогда

как в определенных условиях часто происходит увеличение биомассы за счёт грибов (в кислых почвах), водорослей (при переувлажнении) и т. д. Эти данные дают лишь определенное представление об участии питательных веществ биомассы в развитии растений.

В карбонатном неудобрённом черноземе содержится в среднем 2400 кг/га свежей и 480 кг/га сухой бактериальной массы. При внесении только азотных удобрений количество бактериальной массы существенно не меняется, а при совместном применении азота и фосфора повышается численность бактерий, участвующих в иммобилизации усвояемого азота, и, следовательно, возрастает бактериальная биомасса. Резкое повышение ее количества при внесении удобрений отмечается в тех случаях, когда почва обладает достаточными запасами органического вещества от предшествующей культуры — пожнивных остатков злаковых, бобовых и др. Аммиачная селитра или карбамид, внесенные в почву с остатками зерновых культур (солома), не влияют на объем бактериальной массы. На удобренных площадях общее количество бактериальной массы примерно в два раза больше, чем на неудобрённых участках. Особенно резко (более чем в 5 раз) возрастает ее количество при внесении минеральных удобрений на полях, где предшествующей культурой были бобовые растения. Следовательно, злаковые и особенно бобовые предшественники, после которых остается большое количество корневых и стерневых остатков, способствуют увеличению количества бактериальной массы при внесении удобрений. Увеличение количества бактериальной биомассы, вероятно, происходит также при внесении азотной подкормки в течение вегетации культур, когда в почву поступают корневые выделения. Количество азота, высвобождающегося при минерализации бактериальной массы за период вегетации в почвах без удобрений, достигает 34 кг/га, при применении минеральных удобрений (N, P) — 33–48 кг/га и при внесении удобрений и запашке пожнивных остатков предшественников — 92–99 кг/га. Приведенные данные показывают, что на формирование урожая существенное влияние оказывает так называемый азот почвы, который, в сущности, состоит из азота микробной биомассы. По данным Динчева [40], приблизительно такое же количество азота растения извлекают ежегодно из почвы — этим подтверждается предположение, что "почвенный азот" в основном представлен азотом микробной биомассы. На основании результатов опытов с применением меченого N¹⁵ была объяснена низкая эффективность азотных удобрений на черноземах, где в формировании урожая большое участие принимает "почвенный (биологический) азот". В сущности, значительную часть почвенного азота составляет использованный микроорганизмами азот удобрений, который в течение периода вегетации или на следующий год становится доступным для растений.

Результаты исследования интенсивности процесса минерализации микробной биомассы показали, что в течение 3 месяцев после внесения удобрений при оптимальной влажности и температуре минерализуется значительная часть органического азота микробной биомассы, способного затем принимать участие в формировании урожая. Это возможно после бобовых предшественников, после которых в почве сохраняется

большое количество бактериальной массы, подвергающейся быстрой минерализации.

В карбонатных черноземах следующее количество фосфора, поступающего с бактериальной биомассой в течение периода вегетации возделываемых культур: минимальное (8 кг/га) — при внесении удобрений и отсутствие органических остатков; среднее (18 кг/га) — при внесении удобрений после зерновых культур и максимальное (61 кг/га) — при внесении удобрений после бобовых предшественников. По данным Динчева (1974), с пшеницей ежегодно выносятся 56 кг/га P_2O_5 .

Количество доступного для растений калия, получаемого после минерализации бактериальной биомассы, в карбонатных черноземах составляет: при внесении удобрений, но без растительных остатков в почве — 4 кг/га; при внесении удобрений после зерновых культур — 15 кг/га, при удобрении и наличии растительного материала, богатого азотом, — 32 кг/га. С урожаем пшеницы из почв, по данным Милчева [40], выносятся 100 кг/га калия.

Приведенные выше данные свидетельствуют о важном значении микрофлоры как для плодородия карбонатных черноземов, так и для формирования высокого урожая, поскольку микроорганизмы участвуют в превращении внесенных удобрений, а отмершая биомасса — в питании растений. Удобрение карбонатных черноземов при наличии растительных остатков (корневых и пожнивных) сильно активизирует почвенную микрофлору. В процессе развития последняя включает в клетки азот удобрений (иммобилизует его) и постепенно в течение вегетационного периода в усвояемом для растений состоянии его выделяет. В почвах обычно азот включается в бактериальные клетки, которые легко минерализуются. В карбонатных черноземах с пожнивными остатками, богатыми азотом (бобовые предшественники), удобрения стимулируют высвобождение больших количеств азота из бактериальных клеток, причем эффективность удобрений возрастает при введении в севооборот бобовых культур. В черноземах бобовые культуры активизируют микрофлору, вызывая быструю минерализацию органических остатков, и способствуют увеличению микробной биомассы. В таких условиях возрастает значение запасов питательных веществ в почве для формирования урожая. Следовательно, важное значение имеет состав и количество органических веществ в почве до внесения минеральных удобрений. При наличии остатков предшественника, бедных азотом, бактериальные клетки поставляют небольшие количества усвояемых питательных веществ, поскольку образуемая бактериальная масса незначительна и процесс минерализации происходит медленно. При наличии богатых азотом органических веществ с биомассой в почву поступает больше питательных веществ.

На численности микроорганизмов и количестве биомассы отражаются также изменения в соотношении между азотом и фосфором в удобрении. При достаточной обеспеченности почв фосфором и внесении высоких азотных удобрений снижается численность аммонифицирующих микроорганизмов и актиномицетов, участвующих в процессах минерализации, что благоприятно сказывается на накоплении органического вещества в карбонатных черноземах.

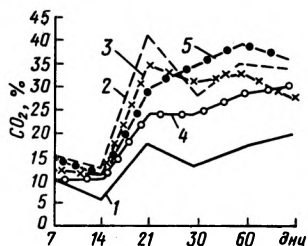


Рис. 10. Общая биологическая активность карбонатного чернозема на разном фоне удобрений с одновременной заашкой люцерны:

1 — N (аммиачная селитра); 2 — NP (аммиачная селитра); 3 — P; 4 — N (карбамид); 5 — NP (карбамид)

Удобрение карбонатных черноземов влияет не только на жизнедеятельность микроорганизмов, но при этом вследствие деятельности микрофлоры в зависимости от доз и видов азотных и фосфорных удобрений увеличивается концентрация двуокиси углерода в почвенном воздухе (рис. 10). Сами азотные удобрения слабо влияют на данный показатель, но при внесении азота на фоне фосфора концентрация углерода увеличивается значительно (в 2,5 раза по сравнению с этой величиной на неудобренных площадях), т. е. фосфор оказывает благоприятное влияние на общую биологическую активность.

Применение удобрений сказывается на интенсивности процессов аммонификации и нитрификации в карбонатных черноземах. Через неделю после внесения минеральных удобрений вслед за увеличением содержания нитратов происходит некоторое снижение их количества, по-видимому, в результате иммобилизации или денитрификации. При внесении карбамида нитрификация почти полностью завершается на 30-й день. Положительно сказывается на нитрификации увеличение количества фосфора. В целом можно сказать, что в данных почвах процесс нитрификации идет очень быстро. Активно протекает биологическая иммобилизация усвояемого азота, в результате которой количество азота снижается. Свыше 30% внесенного азота удобрений включается в микробную массу и становится временно недоступным для растений.

После внесения удобрений в черноземных почвах увеличивается численность денитрифицирующих бактерий, в результате жизнедеятельности которых происходит потеря газообразного азота. При повышении влажности численность этих бактерий еще более возрастает, что приводит к увеличению потерь газообразного азота. Потери азота возрастают при внесении азотных удобрений и снижаются при применении повышенных доз фосфорных удобрений.

Удобрение карбонатных черноземов влияет на численность *Az. chroococcum*: в конце второй недели после внесения высоких доз азота она снижается, далее постепенно восстанавливаясь. Внесение высоких доз азотных удобрений вызывает кратковременное снижение *Cl. pasteurianum*. Следовательно, под действием аммиачной селитры или карбамида сокращается численность азотфиксирующих бактерий в карбонатных черноземах и усиливается поступление азота от биологической фиксации в течение примерно 20 дней после внесения азотных удобрений.

Таким образом, одностороннее применение аммиачной селитры или карбамида или даже в различных соотношениях с фосфором приводит

к значительному нарушению биологического равновесия в карбонатных черноземах. Меняется численность и состав микроорганизмов, что отражается на интенсивности процессов минерализации органического вещества, аммонификации, нитрификации и др.

Аналогичные исследования были проведены на типичных и выщелоченных черноземах. Полученные данные показывают, что удобрения практически не оказывают влияния на микрофлору типичного чернозема. Не наблюдается различий и в интенсивности микробиологических процессов. Более существенные изменения происходят в выщелоченном черноземе, где удобрения оказывают сильное влияние на микрофлору, в сравнении с карбонатными черноземами изменения происходят не столько в численности, сколько в составе микрофлоры. В выщелоченных черноземах после внесения минеральных удобрений (особенно азотных) наиболее значительно увеличивается численность аммонифицирующих микроорганизмов, актиномицетов и т. д. Эти изменения дают основание считать, что происходит быстрое и существенное снижение содержания органического вещества. В этих почвах очень слабо выражена биологическая иммобилизация усвояемого азота, что необходимо учитывать при внесении удобрений после различных предшественников. Нитрификация карбамида в выщелоченных черноземах в течение одной-двух недель протекает замедленно. Влияние минеральных удобрений на микрофлору в черноземных почвах в общем бывает благоприятным, но имеет отрицательные последствия, проявляющиеся особенно при недостатке фосфора. Устранить их можно путем внесения повышенных доз азотных удобрений и достаточной обеспеченностью фосфором.

Серые лесные почвы

Внесение удобрений в серые лесные почвы существенно сказывается на почвенной микрофлоре. Увеличивается общая биологическая активность (определяемая по выделению двуокси углерода), особенно при внесении высоких доз азотных удобрений. При применении минеральных удобрений возрастает численность аммонифицирующих бактерий, в основном спорогенных форм и актиномицетов. Таким образом, в серых лесных почвах под действием азотных и фосфорных удобрений усиливаются процессы минерализации трудноразлагающихся азотсодержащих органических веществ, и в этих процессах принимают участие в основном аммонифицирующие спорообразующие бактерии и актиномицеты.

Серые лесные почвы характеризуются слабой нитрифицирующей активностью, существенно возрастающей на третий месяц после внесения удобрений, однако повышение активности процесса нитрификации под влиянием удобрений бывает ниже, чем на почвах черноземного типа. Серые лесные почвы имеют кислую реакцию, и при внесении аммиачных форм азотных удобрений или карбамида процесс нитрификации аммиачного азота замедляется. Поэтому в серых лесных почвах, удобренных нитратом аммония, сульфатом аммония и карбамидом, длительное время можно обнаруживать азот в аммиачной форме.

Биологическая иммобилизация в указанных почвах протекает в ко-

роткий срок, поэтому через месяц или два после внесения удобрений вновь увеличивается содержание аммиачного азота, что свидетельствует о начале минерализации микробной массы еще в тот вегетационный период, в котором азот удобрений иммобилизовался.

В темно-серых лесных почвах обнаруживается наибольшее количество бактериальной массы, меньшее — в серых и совсем незначительное — в светло-серых лесных почвах с низкой численностью микроорганизмов и слабо выраженной биологической иммобилизацией. Следовательно, серые лесные почвы обладают небольшими запасами питательных веществ, способных влиять на формирование урожая.

В серых лесных почвах редко встречается *Az. chroococcum* и при внесении удобрений его численность не повышается. Общая тенденция в изменении биологических свойств серых лесных почв при внесении удобрений сводится к следующему. Вначале активно происходят процессы минерализации органических азотсодержащих соединений, которые продолжают в течение 3 недель после внесения удобрений. При внесении в почву карбамида численность микрофлоры увеличивается. В связи с замедленной нитрификацией карбамида почвы продолжительное время содержат азот в аммиачной форме, который быстро и активно используется микроорганизмами. Увеличение численности актиномицетов независимо от вида внесенного удобрения дает основание считать, что при этом усиливается минерализация трудноразлагающихся органических веществ. При длительном применении минеральных удобрений на серых лесных почвах возрастает опасность снижения содержания органического вещества. Численность денитрифицирующих бактерий в серых лесных почвах при внесении карбамида уменьшается, вследствие чего слабо протекают процессы денитрификации.

Смолницы

Изменения численности микроорганизмов, происходящие при внесении удобрений в смолницах, по сравнению с другими почвами незначительны и кратковременны. Аммиачная селитра на фоне фосфора вначале несколько увеличивает численность аммонифицирующих бактерий, которые, как известно, минерализуют органические формы азота, а затем значительно возрастает численность микроорганизмов, использующих минеральные формы азота, т. е. участвующих в биологической иммобилизации. Сравнительно слабое влияние минеральных удобрений на численность микрофлоры может быть объяснено высокой поглотительной способностью смолницы и низкими запасами подвижных органических веществ — источника углерода для развития микроорганизмов. При внесении высоких доз азотных удобрений наблюдается увеличение численности спорообразующих аммонифицирующих бактерий и актиномицетов, возрастает возможность активизации процессов минерализации и, вследствие этого, обеднение почвы органическим веществом.

При внесении минеральных удобрений в отсутствие органического вещества количество бактериальной биомассы в смолнице составляет в среднем 2270–3340 кг/га. При наличии бедных азотом пожнивных ос-

татков количество ее увеличивается до 4560 кг/га и пожнивных остатков бобовых культур — до 7360 кг/га. В почве, содержащей органические остатки, количество азота, поступающего с бактериальной массой, составляет 32–35 кг/га после внесения аммиачной селитры и 39–63 кг/га — карбамида.

В результате активизации бактериальной массы под влиянием удобрений в почву поступает 8–11 кг фосфора и 6–8 кг калия на 1 га.

Удобрение смолниц сопровождается существенными изменениями в биологической активности почвы, измеряемой по выделению двуокиси углерода в почвенный воздух. Количество CO_2 увеличивается пропорционально возрастанию доз азота, причем наиболее сильно — через 2–3 недели после внесения удобрений.

Влияние удобрений на аммонифицирующую активность в смолницах зависит от формы азотного удобрения. Через три недели после внесения аммиачной селитры и карбамида отмечаются изменения активности процессов нитрификации, происходящих в почве, — нитрификация аммиачного азота снижается. Больше нитратного азота обнаруживается в течение первого месяца после внесения удобрений, причем количество его возрастает с увеличением доз азота. Такую способность смолницы необходимо учитывать при удобрении культур со специфическими требованиями к аммиачному и нитратному питанию.

В результате использования применяемых на практике доз и форм азотных туков происходит снижение численности *Az. chroococcum*, что особенно сильно заметно через 2–3 недели после внесения удобрений. В вариантах с применением высоких доз азота снижается также численность *Cl. pasteurianum*. Определенное торможение интенсивности процесса денитрификации в смолницах отмечается при внесении карбамида или повышенных доз фосфорных удобрений. Следовательно, удобрения изменяют биологические свойства смолницы, главным образом после внесения высоких доз азота. В почвах данного типа биологическая иммобилизация усвояемого азота происходит слабо, тогда как денитрификация, наоборот, — довольно интенсивно, в частности при использовании высоких доз азотных удобрений. Приведенные данные показывают, что биологические свойства смолницы обуславливают высокую эффективность минеральных удобрений, в основном азотных. Однако длительное применение минеральных удобрений, особенно в высоких дозах, приводит к обеднению этих почв органическим веществом.

Коричневые лесные почвы

В коричневых лесных почвах удобрения вначале вызывают увеличение численности аммонифицирующих бактерий и актиномицетов, которое наиболее заметно при применении высоких доз азота и фосфора. Так, карбамид повышает численность микроорганизмов, использующих минеральный азот, а также актиномицетов. В этих почвах также возрастает выделение двуокиси углерода в почвенный воздух и значительно увеличивается количество бактериальной биомассы. Биологическая иммобилизация протекает интенсивно, но это кратковременный процесс. Иммобили-

билизированный усвояемый азот сравнительно быстро минерализуется, вследствие чего азот, заключенный в бактериальные клетки, используется еще в текущем вегетационном периоде.

Большая часть азота, внесенного с аммиачной селитрой и карбамидом, в типичных и слабовыщелоченных коричневых лесных почвах быстро нитрифицируется.

При внесении удобрений в псевдоподзолистые коричневые лесные почвы в почвенном растворе длительное время, в течение процесса нитрификации, обнаруживается аммиачный азот. Следует отметить, что данные почвы не обладают условиями, способствующими активному прохождению процесса нитрификации, что связано с низким содержанием усвояемого азота в этих почвах из-за слабой нитрифицирующей способности и иммобилизации азота имеющимися микроорганизмами. В типичных и слабовыщелоченных коричневых почвах наиболее распространен *Az. chroococcit*, численность которого существенно не меняется под влиянием удобрений, тогда как при внесении высоких доз фосфора наблюдается тенденция к снижению денитрифицирующих бактерий. При внесении удобрений в коричневые лесные почвы, обладающие кислой реакцией, численность микроорганизмов существенно меняется. В псевдоподзолистых коричневых почвах под влиянием удобрений численность микроорганизмов возрастает, чему особенно способствуют одновременно заплата растительных остатков и внесение удобрений. Наиболее ценными являются пожнивные остатки бобовых культур, которые намного улучшают биологические свойства псевдоподзолистых коричневых почв.

Бурые лесные почвы

В бурых лесных почвах при внесении удобрений снижается численность аммонифицирующих бактерий, но увеличивается численность бактерий, использующих минеральный азот, и актиномицетов. Это свидетельствует о том, что минеральные удобрения стимулируют биологическую иммобилизацию азота. Подтверждением служат данные о наличии в этих почвах значительного количества гумуса с высоким содержанием углерода [40]. После внесения удобрений с 7-го по 21-й день меняется биологическая активность. Под влиянием аммиачной селитры и карбамида в 2–3,5 раза увеличивается численность целлюлозоразлагающих микроорганизмов. Следовательно, удобрение положительно сказывается на интенсивности процесса разложения богатых целлюлозой органических веществ, типичных для бурых лесных почв. Удобрение увеличивает также содержание аммиачного азота в этих почвах. Количество нитратного азота возрастает через 30–40 дней после внесения азотных удобрений, что свидетельствует о замедленном прохождении в этих почвах нитрификации. Удобрения, особенно карбамид, снижают численность денитрифицирующих бактерий, что также является подтверждением слабой нитрификации в условиях бурых лесных почв. Накопление аммиачного азота в результате внесения удобрений необходимо учитывать при выборе минеральных удобрений под различные культуры, возделываемые на этих почвах.

УЧАСТИЕ МИКРОФЛОРЫ В МИНЕРАЛИЗАЦИИ КАРБАМИДА

Карбамид — концентрированное удобрение, содержащее 45–46% водорастворимого азота. Его гидролиз основан на превращении органических соединений азота в карбонат аммония, представляющий собой нейтральное соединение, разлагающееся на аммиак, двуокись углерода и воду. Скорость этого процесса зависит от факторов, тесно связанных с развитием и активностью почвенных микроорганизмов: температуры, влаги, значения pH, содержания органического вещества и т. д.

При оптимальных условиях в почве гидролиз карбамида протекает быстро — за 1–4 дня, однако ослабевает при низкой температуре (4°C), что обусловлено снижением численности микроорганизмов, участвующих в этом процессе. При 28°C гидролиз протекает в 5,4 раза быстрее, чем при 4°C . Поэтому карбамид, внесенный летом, гидролизуются намного быстрее, чем при применении его зимой. Оптимальная влажность для данного процесса — 50–60% ППВ. Более высокая или низкая влажность тормозит минерализацию карбамида [64].

Кислотность почвы существенно не влияет на скорость гидролиза карбамида до аммиака, поскольку аммиак нейтрализует кислую реакцию среды, оказывая благоприятное воздействие на активность уробактерий [64, 72].

В почвах с благоприятными условиями для аммонификации карбамида и при внесении высоких доз этого удобрения молодые растения или проросшие семена могут повреждаться накапливающимся аммиаком. Карбамид может быть также токсичным для растений из-за повышенного содержания биурета — продукта конденсации двух молекул карбамида.

Для изучения эффективности карбамида как удобрения были проведены опыты по использованию уреазной активности почвы с использованием тормозящих гидролиз ферментативных дезактиваторов, таких как хлорид ртути или парахлормеркурибензоат. При внесении ингибиторов нитрификации с карбамидом в почвы, в которых активно протекают процессы нитрификации, получены значительные прибавки урожая кукурузы, хлопчатника и сахарной свеклы [64, 93]. Одновременно при этом снижалось содержание нитратного азота, который без ингибиторов нитрификации вымывался или подвергался денитрификации. В качестве ингибиторов используют 2-хлор-6(трихлорметил)-пиридин, тиокарбамид, метионин, дициандиамид и многие производные уретана; наиболее эффективен из них 2-хлор-6(трихлор)-пиридин.

Изучена возможность применения медленнодействующих удобрений, из которых усвояемый азот высвобождается медленно и постепенно для предупреждения аммонификации и нитрификации карбамида в почве. В опытах использовали карбамид, гранулы которого были покрыты серной оболочкой с добавлением склеивающих веществ и воска. При разовом внесении такого карбамида высвобождается аммиак, необходимый растениям. По эффективности разовое внесение гранулированного карбамида равно трехкратному внесению обыкновенного карбамида [73]. Скорость высвобождения аммиака из гранулированных удобрений зависит от толщины оболочки и размера гранул.

По некоторым данным, разложение в почве продуктов поликонденсации карбамида с различными альдегидами протекает преимущественно под влиянием микробиологических и ферментативных процессов. Под действием почвенных микроорганизмов разрушается поликонденсационная связь и высвобождается карбамид и альдегид. Карбамид гидролизуется уробактериями до NH_3CO_2 .

Исследования питательной среды, в которой источник азота заменяется эквивалентным количеством азота медленнодействующего азотного удобрения (карбамидоформальдегидное азотно-фосфорное удобрение и др.), показывают, что некоторые почвенные микроорганизмы могут использовать азот из этих удобрений для роста и развития. Среди них преобладают бактерии родов *Bacillus* и *Bacteroides*, несколько меньше актиномицетов и совсем мало микроскопических грибов.

Болгарские исследователи изучали минерализацию карбамида в почве различных типов [27, 30]. Для определения интенсивности этого процесса исследовали аммонификацию, нитрификацию и уреазную активность. Результаты исследования показали, что в карбонатных черноземах на 10-й день после внесения карбамида минерализовалось 59% внесенного с карбамидом азота, на 20-й — 74% и на 40-й день — 98%, т. е. весь внесенный азот (рис. 11).

В выщелоченных черноземах на 10-й день после удобрения минерализовалось 66% внесенного с карбамидом азота, на 28-й — 68% и на 40-й день — 98%. В серой лесной почве — соответственно 40, 62 и 73%, т. е. в этих почвах через 40 дней после внесения карбамида 27% азота не минерализовалось. В типичных коричневых лесных почвах на 10-й день после внесения удобрения минерализовался 41% внесенного с карбамидом азота, на 28-й — 60% и на 40-й день — 92%; в выщелоченных коричневых лесных почвах — соответственно 42, 60 и 79% и в оподзоленных коричневых — 38; 55 и 82%.

При сравнении действия аммиачной селитры и карбамида на микро-

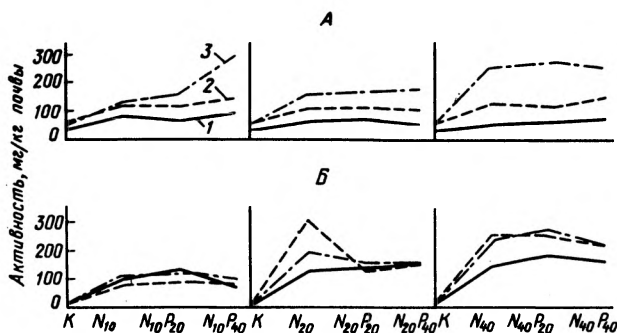


Рис. 11. Влияние карбамида на нитрифицирующую активность черноземов:

А — выщелоченный чернозем; Б — карбонатный чернозем; активность через один (1), два (2) и три (3) месяца после внесения карбамида.

флору основных типов почв Болгарии были сделаны два основных вывода.

1. При удобрении аммиачной селитрой активизируются процессы минерализации легкоразлагающихся азотсодержащих органических веществ в почве.

2. Внесение карбамида ускоряет разложение трудноминерализующихся органических веществ с высоким содержанием целлюлозы.

Результаты микробиологических исследований позволяют высказать предположение, что длительное применение аммиачной селитры быстро приводит к обеднению почвы, в которой интенсивно протекают процессы иммобилизации почвенного азота. Карбамид ускоряет минерализацию пожнивных остатков, а также богатых целлюлозой компостов и др. Однако указанные особенности зависят от условий аммонификации и нитрификации. Различия в численности микроорганизмов вызваны в основном разным количеством аммиачного и нитратного азота, поступающего в почвенный раствор при внесении этих двух видов азотных удобрений. Количество высвобождающего азота, в свою очередь, зависит от типа почвы.

Влияние удобрений на ферментативную активность почв

Под влиянием удобрений меняется не только микрофлора, но и ферментативная активность почвы, т. е. активность ферментов, образующихся в результате жизнедеятельности микроорганизмов. По мнению некоторых исследователей [38, 62, 72], ферментативная активность точно и верно отражает биологические свойства почвы и их изменения под влиянием антропогенных факторов.

Как показывают результаты исследований, внесение в почву удобрений сопровождается снижением каталазной активности, т. е. уменьшается количество ферментов, катализирующих разложение перекиси водорода.

Фосфатаза катализирует процессы минерализации органических фосфорных соединений в почве, при внесении удобрений ее активность возрастает. Повышается количество уреазы — специфического фермента, катализирующего разложение уреатов в почве.

В карбонатных черноземах максимальная активность уреазы наблюдается при внесении высоких доз карбамида на фоне фосфора (табл. 3). Исследования изменения количества этого фермента в почве показали, что оно велико в первый месяц, сокращается во второй и достигает следовых концентраций в третий месяц после внесения карбамида, т. е. динамика активности уреазы аналогична динамике аммонификации карбамида. В выщелоченном черноземе также существует четкая корреляция между количеством уреазы и интенсивностью аммонификации. Высокое количество уреазы в черноземах свидетельствует о том, что в этих почвах интенсивно протекает аммонификация карбамида.

В серых лесных почвах количество уреазы значительно ниже, чем в черноземах. В первые два месяца после внесения карбамида количество фермента находится примерно на одном уровне и на третий — снижается.

3. Влияние удобрений на ферментативную активность некоторых почв (на 1 г почвы)

Фермент \ Почва	Карбонатный чернозем	Серая лесная почва	Оподзоленная коричневая лесная почва
Уреаза, мг N			
Без удобрений	4,5	2,5	1,8
НРК	8,5	3,0	11,5
Протеаза, мг глицина			
Без удобрений	1,1	1,0	0,7
НРК	4,0	3,0	1,2
Инвертаза, мг глюкозы			
Без удобрений	22,0	11,3	6,4
НРК	27,0	12,8	6,8
Каталаза, мг O ₂ /2 мин.			
Без удобрений	12,0	1,0	2,2
НРК	8,5	0,6	1,5

Очевидно, минерализация карбамида в почвах этого типа протекает более длительное время, чем в черноземах.

В коричневых лесных почвах количество уреазы выше, чем в серых лесных почвах, однако ниже, чем в черноземах, особенно при удобрении их высокими дозами карбамида. Наибольшее количество этого фермента содержится в почве после внесения удобрений и через месяц незначительно снижается. Это свидетельствует о продолжительной и довольно интенсивной аммонификации. Типичные и выщелоченные коричневые лесные почвы по содержанию уреазы существенно не различаются.

В псевдоподзолистых коричневых лесных почвах количество уреазы возрастает при увеличении доз карбамида и внесении его на фоне фосфора и остается примерно на одном уровне все три месяца после внесения удобрений. Вывод, еще раз подтверждающий, что аммонификация карбамида в этих почвах является длительным процессом. В результате применения удобрений и заделки пожнивных остатков в почве повышается активность ферментов: на первых этапах минерализации активность протеазы и инвертазы, а в последующей фазе — уреазы, инвертазы и целлюлазы.

Данные об активности ферментов в почве коррелируют с результатами микробиологических исследований. Таким образом, при внесении удобрений меняется не только численность микрофлоры, но в большинстве случаев активизируется и ферментативная активность почвы. В связи с этим можно отметить, что удобрения влияют на направленность и интенсивность биохимических процессов в почве.

Биологическая иммобилизация азота при внесении удобрений

Как было сказано ранее, удобрения влияют на численность и биомассу микрофлоры, на биологические и ферментативные процессы в почве и т. д. Очень важно знать, каким образом эти изменения биологических свойств почвы сказываются на ее плодородии. Известно, что интенсивное прохождение азотфиксации, минерализации биомассы и других процессов

способствует накоплению питательных веществ в почве. Денитрификация и биологическая иммобилизация усвояемого азота обедняют почвы. От высокой иммобилизации азота зависит содержание усвояемого азота в почве.

Часть внесенного с удобрениями усвояемого азота иммобилизуется микроорганизмами и, включаясь в биомассу, составляет резерв почвы. При минерализации биомассы микроорганизмов почва обогащается усвояемым азотом. Время протекания процесса биологической иммобилизации имеет большое значение для создания почвенного плодородия. Если внесение азотных удобрений и последующая иммобилизация осуществляются в период, когда растения не поглощают азот почвы (в начале или конце вегетации) или проведено предпосевное удобрение, тогда биологическая иммобилизация — это полезный процесс, поскольку она предохраняет усвояемый азот от вымывания, и который далее превращается в органический. Обычно это наблюдается при внесении удобрений зимой, осенью или ранней весной. В случае, если иммобилизация протекает в вегетационный период (подкормка), ухудшается азотное питание растений и снижается эффективность азотных удобрений.

Однако не только срок иммобилизации, но и формы, в которые связывается азот микроорганизмами, определяют продолжительность биологической иммобилизации.

Иммобилизованный азот — азот органический, использующийся медленно и в меньшей степени, чем внесенный с минеральными удобрениями, однако он усваивается более полно и быстрее, чем азот растительных и животных остатков. В опытах со стерильными культурами установлено, что иммобилизованный азот клеток *Asp. niger* используется на 30%, микробактерий — на 29%, спорогенных форм — на 11% и т. д. [32, 98]. Интенсивность минерализации биомассы зависит не только от численности, но и от активности почвенной микрофлоры. Живые клетки, например дрожжей, используют меньше иммобилизованного азота (29,6%), чем мертвые клетки (33,8%).

Установлено, что азот, иммобилизованный аспорогенными бактериями, используется быстрее и в больших количествах, чем азот спорообразующих видов. Трудно усвоим азот, иммобилизованный актиномицетами и грибами. Процессы иммобилизации и реминерализации азота протекают довольно активно в ризосфере растений, поскольку там сосредоточено большое число микроорганизмов.

Иммобилизованный азот используется в 5—6 раз активнее, чем азот гумуса, так как микробная масса минерализуется легче. Часть азота, иммобилизованного в микробной клетке, входит в состав образующегося гумуса и затем легко минерализуется.

Биологическая иммобилизация азота протекает наиболее активно при отношении C:N больше 30, при C:N, равном 10; она ослабевает или вообще отсутствует, т. е. иммобилизация протекает, если почва при внесении азотных минеральных удобрений содержит растительные остатки, бедные азотом. При наличии источника углерода активизируется микрофлора, однако для ее развития необходим азот, который она потребляет из почвенных запасов или из удобрений.

Результаты исследований, проведенных на различных почвах Болгарии, выявили низкую эффективность минеральных азотных удобрений (Динчев, 1974). Суммарный азот почвы, используемый растениями, кроме усвояемого азота удобрений, содержит 3–15% иммобилизованного азота. Это свидетельствует о повышенной способности к иммобилизации азота удобрений и о низкой способности минерализации усвояемого азота.

В карбонатных черноземах, содержащих легкоусвояемые безазотистые органические вещества, иммобилизация азота происходит довольно активно, особенно при удобрении почв карбамидом (Войнова, 1977), в основном в течение 2–3 недель после внесения удобрений. Однако иммобилизованный азот не минерализуется раньше, чем в течение 3-х месяцев. При одновременном внесении с удобрениями небольшого количества пожнивных остатков бобовых культур наблюдается слабая иммобилизация усвояемого азота удобрений в период с первой по третью неделю после внесения удобрений. Иммобилизация азота в карбонатном черноземе при наличии богатого азотом органического вещества является быстротечным процессом. Иммобилизованный азот довольно быстро переходит в усвояемую форму и в почве накапливается аммиачный азот — продукт минерализации микробной массы. Высокая скорость течения этих процессов при наличии органических остатков, богатых азотом, содействует поступлению больших количеств усвояемого азота в течение вегетационного периода растений. Пожнивные остатки люцерны увеличивают количество азота, поступающего в эти почвы в результате процессов минерализации, особенно при внесении карбамида на фоне фосфорных удобрений. Следовательно, в карбонатных черноземах при внесении удобрений и пожнивных остатков злаковых культур происходит интенсивная иммобилизация азота. При наличии органического вещества, богатого азотом (навоз, бобовые культуры или бобовый предшественник), и применении удобрений в карбонатный чернозем поступает усвояемый азот не только после минерализации корневых и пожнивных остатков или органического материала вообще, но и за счет сильного временного снижения биологической иммобилизации усвояемого азота. Это объясняется тем, что богатое азотом органическое вещество активизирует в основном микрофлору, связанную с процессами минерализации. Следовательно, для преодоления вредного последствия биологической иммобилизации, связанного со снижением эффективности азотных минеральных удобрений, необходимо в севообороты чаще включать бобовые культуры.

В типичных черноземах при внесении удобрений и наличии в почве органических остатков с низким содержанием азота иммобилизация азота высока. Однако она протекает в более короткий период, чем в карбонатных черноземах. При наличии в почве остатков злаковых и других культур и внесении аммиачной селитры или карбамида иммобилизация усвояемого азота резко возрастает. В среднем за 3 месяца после внесения удобрений иммобилизовалось 22–26% азота, внесенного с селитрой, и 28–35% азота, внесенного с карбамидом, т. е. в течение 3 месяцев после внесения удобрений не отмечается существенного снижения иммобилизации азота, что свидетельствует об интенсивности и продолжительности этого процесса. Следовательно, в карбонатных и типичных черноземах в период вегетации

растений нельзя ожидать значительного поступления иммобилизованного от реминерализации азота. Это необходимо учитывать при определении норм вносимых удобрений в почвы после злаковых культур и других предшественников, оставляющих бедные азотом пожнивные и корневые остатки. Кроме того, для восполнения количества иммобилизованного азота необходимо повысить нормы удобрений. После бобовых предшественников на карбонатных и типичных черноземах следует снизить количество вносимых удобрений, поскольку в этом случае поступление усвояемого азота происходит не только за счет минерализации пожнивных остатков, но также и микробной массы.

Иммобилизация азота в выщелоченных черноземах бывает относительно низкой. Интенсивность процесса значительно возрастает после внесения карбамида и становится максимальной между второй и третьей неделей после применения удобрений и затем постепенно снижается. Следовательно, в выщелоченных черноземах иммобилизация усвояемого азота менее интенсивна и продолжительна, чем в карбонатных и типичных черноземах, что приводит, по-видимому, к высокой эффективности вносимых азотных минеральных удобрений, отмеченной в полевых опытах (Динчев, 1974).

В смолницах иммобилизация азота бывает высокой при внесении удобрений и наличии в почве органических веществ с низким содержанием азота. Процесс наиболее интенсивен с третьего по седьмой день после внесения удобрений. Возникает предположение, что иммобилизованный азот в смолницах находится в лабильной форме и способен к быстрой реминерализации, в силу чего создается возможность использования азота микробной биомассой. Количество иммобилизованного азота в смолницах и карбонатных и типичных черноземах примерно одинаковое, однако в смолницах созданы благоприятные условия для минерализации иммобилизованного азота, поскольку в этом процессе в основном участвуют бактерии, при этом происходит интенсивная минерализация микробной биомассы.

В сравнении с рассмотренными ранее почвами оподзоленные коричневые лесные почвы характеризуются низким уровнем иммобилизации азота. Процесс происходит активно лишь после злаковых предшественников, и в короткий промежуток времени до 3-х недель после внесения удобрений. По-видимому, в этом случае происходит реминерализация и в почвенный раствор поступает усвояемый азот, повторно используемый растениями в тот же вегетационный период. В этих почвах при внесении удобрений после бобовых предшественников не происходит иммобилизация азота. На основании результатов микробиологических исследований создается возможность прогнозировать высокую эффективность азотных минеральных удобрений на этих слабоплодородных почвах.

Интенсивная и продолжительная иммобилизация усвояемого азота происходит в нейтральных почвах, богатых органическим веществом, и при внесении удобрений после зерновых и других небобовых культур, оставляющих в почве высокие количества корневых и пожнивных остатков с низким содержанием азота.

В этих случаях после таких предшественников требуется повысить

норму азотных удобрений. Очень часто лишь небольшая часть азота, входящая в состав микробной клетки, в течение вегетационного периода становится вновь доступной для растений — это негативное проявление иммобилизации. В почвах Болгарии минерализация микробной массы и интенсивное накопление усвояемого азота происходит осенью и весной, т. е. при наличии высокой влажности в почве. Однако в это время растения совсем не используют или слабо используют азот, в связи с чем в почве накапливаются нитраты или аммиачный азот. При интенсивной иммобилизации (запашка пожнивных остатков) усвояемый азот превращается в органический и таким образом предохраняется от вымывания. В этих случаях иммобилизация — позитивный процесс, способствующий повышению почвенного плодородия.

Потери газообразного азота

Потери азота от вымывания в почвах Болгарии обычно незначительны и составляют в среднем 1% от внесенного азота удобрений [40]. Азот теряется в основном от протекающих процессов денитрификации. По данным Смирнова [93, по Сапожникову], на основных типах почв СССР происходят потери азота в аммиачной форме при поверхностном внесении сульфата аммония и при высокой температуре. За один вегетационный период в зависимости от возделываемой культуры теряется 55–97 кг N на 1 га, в том числе 7–23 кг в газообразном виде. По данным исследований, проведенных Ротамстедской опытной станцией [40], 68% азота из внесенного с навозом теряется в результате жизнедеятельности микроорганизмов. По данным Турчина [101], в газообразном виде теряется 10–30% азота от количества внесенного с минеральными удобрениями.

Макаров [52] считает, что газообразные потери азота зависят от температуры. Днем улетучивается в 3 раза больше аммиака, чем ночью. При внесении карбамида в дозе 20 кг/га в течение двух дней теряется значительное количество азота, причем 2,3% — в форме аммиака и 0,1% — NO_2 . В контролируемых условиях лабораторного эксперимента при дозе 84 мг N/кг почвы за 10 дней теряется в аммиачной форме 0,9% внесенного карбамида. Общие газообразные потери при внесении минеральных удобрений за 2 месяца составляют 64–74%, а при одновременном запахивании соломы — лишь 34%, т. е. снижаются в результате иммобилизации нитратов.

Размер газообразных потерь азота зависит не только от свойств почвы, но и от возделываемой культуры. На одинаковых типах почвы потери азота при возделывании пшеницы достигали 27–29% от внесенного азота удобрений, кукурузы — 16–20% и на площадях без культуры — 56–60%.

Газообразные потери азота происходят в основном в анаэробных условиях в результате жизнедеятельности факультативно анаэробных бактерий, наличие воздуха в почве существенно уменьшает эти потери. Почему при денитрификации теряется газообразный азот? Денитрифицирующие бактерии при отсутствии или недостатке кислорода используют для дыхания кислород нитратов и нитратных соединений, при этом выделяется газообразный азот и образуется окись азота. Потери газообразного азота, вызванные денитрифицирующими бактериями, наиболее высоки в тяжелых почвах с плохой аэрацией, а также в щелочных и бо-

гатых легкодоступными источниками углерода. Денитрификация интенсивно протекает в почве, содержащей нитратный или аммиачный азот, но в этом случае созданы благоприятные условия для нитрификации. Установлено, что потери газообразного азота в результате денитрификации наиболее высоки при внесении завышенных доз азотных удобрений в почву с затрудненным доступом воздуха и высоким содержанием органического вещества, бедного азотом, образующегося обычно после заделки пожнивных остатков в переувлажненные почвы.

В результате изучения денитрифицирующей способности некоторых почв в Болгарии показано, что при оптимальном увлажнении без дополнительного внесения безазотистых или с низким содержанием азота органических веществ газообразные потери нитратного азота в почве составляют 12,5–27,5% от имеющихся в почве или внесенных с удобрениями нитратов. Примерно такие же потери наблюдаются в карбонатных и выщелоченных черноземах и смолницах.

Значительные потери газообразного азота при внесении удобрений происходят на псевдоподзолистых коричневых лесных и светло-серых лесных почвах, т. е. с кислой реакцией среды. По-видимому, в этих условиях потери возникают от денитрификации, при которой в кислой среде происходит разложение нитратного азота до окиси азота.

В модельных опытах, проведенных на переувлажненных почвах (100% ППВ), отмечено значительное повышение интенсивности денитрификации (примерно в 3 раза) при внесении удобрений по сравнению с процессом в контрольных неудобренных площадях, что особенно четко выражено на черноземных почвах и смолницах.

Вносимые органические безазотистые вещества влияют на интенсивность процесса денитрификации при 60% ППВ, которая возрастает в серой лесной почве и выщелоченном черноземе и снижается в карбонатном черноземе или не меняется в коричневых лесных почвах. Изменение интенсивности денитрификации можно объяснить наступившей в этих условиях иммобилизацией нитратного азота, например в карбонатном черноземе. Иммобилизация приводит к снижению содержания нитратов и косвенно — к ослаблению денитрификации. При наличии органического вещества с низким содержанием азота и влажности 100% ППВ азот, внесенный с удобрениями, почти полностью исчезает из почвы. В почвах со слабой биологической иммобилизацией (серые лесные, псевдоподзолистые коричневые и др.) при влажности до 60% ППВ денитрификация протекает интенсивно после внесения нитратных видов азотных удобрений. При переувлажнении и наличии безазотистых органических веществ во всех исследованных почвах денитрифицируется большое количество азота, внесенного с удобрениями.

Данные по изучению динамики потерь газообразного азота показывают, что они бывают наибольшими почти сразу же после внесения азотных удобрений. В карбонатных черноземах потери газообразного азота при внесении аммиачной селитры были значительными в течение 8 дней после внесения удобрений, а затем начинали снижаться. В других почвах значительные потери происходили с третьего по восьмой день от внесения удобрений, а затем также снижались.

На серых лесных почвах при внесении аммиачной селитры и особенно карбамида общие газообразные потери ниже, чем на карбонатных черноземах. После внесения карбамида в результате снижения и замедления его нитрификации в этих почвах 18% внесенного азота теряется в виде аммиака и лишь 0,5% — в виде окиси азота.

При внесении аммиачной селитры или карбамида на смолницах наибольшее количество газообразного аммиака теряется с 8-го по 14-й день после внесения удобрений.

На типичных коричневых лесных почвах при внесении аммиачной селитры потери газообразного аммония также наиболее значительны между 8-м и 14-м днями после внесения удобрений. В целом за изучаемый период терялось около 15,6% азота, внесенного с карбамидом. В этих почвах высокие потери происходят в виде окиси азота, поскольку создаются благоприятные условия для нитрификации и накопления в основном нитратного азота — субстрата для нитрификации.

При разбросном внесении карбамида потери аммония на псевдоподзолистых коричневых лесных почвах сначала невысоки, однако выделение газообразного аммиака продолжается и через 30 дней после внесения удобрений. В целом за изучаемый период (2 месяца) терялось 10% азота в виде аммиака. Отмечены также высокие потери окиси азота, которые можно объяснить выделением летучих газов, образующихся при денитрификации в кислой среде.

В заключение можно сказать, что в почвах Болгарии процесс денитрификации протекает довольно интенсивно, что снижает эффективность вносимых азотных минеральных удобрений, особенно при интенсивном их использовании и применении агротехнических приемов, ослабляющих аэрацию почв (минимальная обработка, рыхление и др.).

В странах с развитым земледелием (Япония, США, СССР и др.) используют ингибиторы нитрификации. Это химические вещества, временно блокирующие активность нитрифицирующих бактерий, которые перестают накапливать нитраты — энергетический материал для денитрифицирующих бактерий. Результаты опытов с ингибитором N-Serve, проведенных болгарскими исследователями, показали, что растения положительно отзываются на ингибирование денитрификации в течение месяца после внесения удобрений, поскольку усвояемый азот используется ими именно в этот период. Ингибирование процесса денитрификации в почвах повышает эффективность вносимых азотных удобрений в среднем на 15–20%, что имеет большое народнохозяйственное значение. В последнее время все чаще появляются сведения об ингибиторах, используемых для повышения эффективности азотных минеральных удобрений. Установлено, что снижение денитрификации позволит сельскому хозяйству сохранить в среднем 25% внесенных азотных удобрений. Борьба за снижение денитрификации — трудная задача, поскольку в этом процессе участвуют не специфические бактерии, а различные виды почвенных микроорганизмов, которые при плохой аэрации почвы могут использовать для дыхания кислород нитратов. Большое распространение этих микроорганизмов в почвах еще более затрудняет ингибирование процесса нитрификации.

ВЛАЖНОСТЬ ПОЧВЫ И ПРИМЕНЕНИЕ УДОБРЕНИЙ

Исследования изменений численности микрофлоры и интенсивности микробиологических процессов при внесении удобрений в условиях различной влажности тесно связаны с вопросом повышения эффективности минеральных удобрений. Определение оптимальной влажности при внесении удобрений, которая благоприятно влияет на микробиологические процессы и содействует повышению плодородия почвы, — основная цель исследований.

В Болгарии эти исследования проводятся в модельных опытах при контролируемой влажности, а также в полевых условиях при поливе различными нормами.

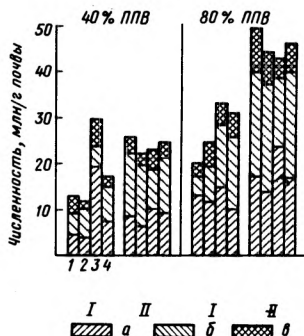
При низкой влажности (около 40% ППВ) в черноземах в основном снижается численность аммонифицирующих бактерий (рис. 12). В засушливый период больше численность микроорганизмов, использующих минеральные формы азота, которые распределяются довольно равномерно. Влажность не оказывает существенного влияния на численность актиномицетов. После внесения удобрений в карбонатные черноземные почвы при влажности свыше 80% ППВ происходит некоторое снижение общей численности микроорганизмов.

Когда минеральные азотные удобрения вносят при 80% ППВ, то биологическая иммобилизация усвояемого азота в черноземных почвах (карбонатных, типичных и слабовыщелоченных черноземах) бывает высокой в течение 30 дней после внесения удобрений, а затем резко снижается. В этих условиях (80% ППВ) почвы обогащаются аммонийным и нитратным азотом через 60 дней после внесения азотных удобрений; в этот период, по-видимому, продолжается минерализация иммобилизованного азота (рис. 13).

При влажности 40% ППВ биологическая иммобилизация усвояемого азота в черноземах довольно интенсивна и происходит в течение продолжительного времени после внесения удобрений. При высокой влажности процесс минерализации иммобилизованного азота усиливается, создавая возможность для поступления усвояемого азота в течение вегетационного периода. При повышении влажности черноземов (орошение или внесение

Рис. 12. Влияние удобрений и влажности почвы на состав и численность бактерий:

I — почва; *II* — запаханная стерня; 1, 2, 3, 4 — численность микроорганизмов через 15; 30, 45 и 60 дней после внесения удобрений; *a* — аммонифицирующие бактерии; *б* — бактерии, использующие минеральный азот; *в* — актиномицеты.



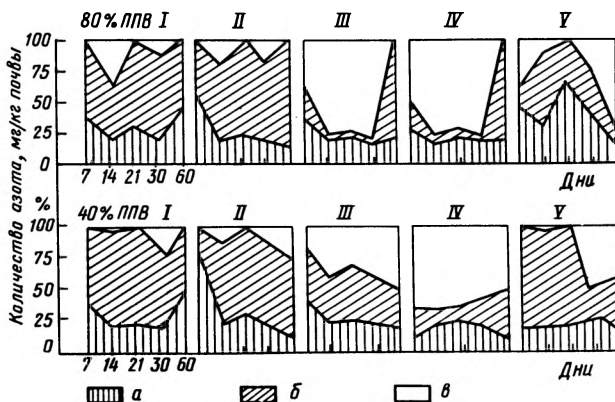


Рис. 13. Влияние влажности карбонатного чернозема и удобрений на содержание нитратного и аммиачного азота:

I – аммиачная селитра; *II* – карбамид; *III* – аммиачная селитра + солома; *IV* – карбамид + солома; *V* – контроль; *а* – аммиачный азот; *б* – нитратный азот; *в* – иммобилизованный азот.

удобрений) до 60–80% ППВ срок биологической иммобилизации азота уменьшается и улучшается азотный режим указанных почв.

При внесении удобрений и различной влажности почвы также меняется численность азотобактера. При 40% ППВ отмечается тенденция к снижению численности азотобактера в среднем на 12%. Снижение происходит также и в начальный период после внесения удобрений в почву с влажностью 80% ППВ. После второй недели при такой влажности прекращается депрессия развития азотобактера, и его численность начинает возрастать.

Данные о денитрифицирующей активности почв при внесении в нее удобрений показывают, что при влажности 40% ППВ и наличии бедных азотом органических веществ содержание азота снижается на 73%. При влажности 80% ППВ снижение содержания азота по сравнению с контролем составляет 96%, т. е. денитрификация протекает более интенсивно при высокой влажности почвы. Следовательно, при внесении азотных минеральных удобрений на переувлажненных черноземах возможны высокие потери газообразного азота.

Различная влажность черноземов при внесении удобрений оказывает сильное влияние на активность разложения целлюлозы. При 80% ППВ временно снижается численность аэробной целлюлозоразлагающей микрофлоры, приводя к торможению процесса разложения целлюлозы. Содержание CO_2 в почвенном воздухе при внесении удобрений и при всех трех изучаемых уровнях влажности почвы (40, 60 и 80% ППВ) увеличивается в присутствии в почве органической массы (солома). Следовательно, при внесении удобрений и низкой влажности черноземов заторможены биологические процессы, связанные с минерализацией органического вещества, и в то же время возрастает величина биологической иммоби-

лизации питательных веществ, что приводит к ухудшению пищевого режима и снижению эффективности внесенных удобрений. При внесении удобрений в переувлажненную почву создаются условия для полезных биологических процессов, но увеличивается опасность газообразных потерь азота вследствие денитрификации. Наиболее целесообразно в черноземные почвы вносить удобрения при влажности 60–80% ППВ.

Под влиянием удобрений, внесенных при различной влажности почвы, довольно значительно изменяется общая биологическая активность смолницы. При влажности свыше 80% ППВ она снижается, по-видимому, в результате ухудшения воздушного режима этих почв. Уменьшение интенсивности аммонификации и нитрификации в этих условиях являются положительными. Оптимальная влажность для прохождения этих процессов – 60–80% ППВ.

При внесении удобрений в почву с влажностью 80% ППВ и наличии органических остатков, бедных азотом, заметно снижается количество усвояемого азота в смолницах. Этот факт позволяет высказать предположение, что в этих условиях усиливается интенсивность денитрификации или биологическая иммобилизация азота.

В коричневых лесных (типичных или слабовыщелоченных) почвах при внесении удобрений степень влажности почвы слабо влияет на ее биологическую активность. Внесение удобрений при 60–80% ППВ приводит к увеличению содержания нитратного азота в почве, т. е. повышается интенсивность нитрификации. Внесение карбамида при пониженной влажности вызывает уменьшение интенсивности этого процесса. Иммобилизация азота в коричневых лесных почвах бывает высокой как в переувлажненной, так и в оптимально увлажненной почве, следовательно, степень влажности почвы не оказывает существенного влияния на интенсивность и продолжительность биологической иммобилизации азота. Это объясняется тем, что в этом процессе в коричневых почвах принимают участие в основном актиномицеты, тогда как в черноземах и смолницах иммобилизацию осуществляют в первую очередь другие бактерии. Кроме того, актиномицеты минерализуются трудно, поэтому в условиях орошения невозможно существенно улучшить азотный режим этих почв. Орошение коричневых почв приводит к увеличению численности денитрифицирующих бактерий, которая продолжительное время после внесения удобрений остается высокой, независимо от степени влажности почвы. При влажности 80% ППВ возрастает численность целлюлозоразлагающих микроорганизмов, в основном актиномицетов и грибов.

Результаты исследования светло-серых лесных почв показывают, что степень их увлажнения при внесении удобрений значительно влияет на происходящие в них биологические процессы. Численность основных изучаемых групп микроорганизмов меняется незначительно. Существенно меняется интенсивность протекающих в почве процессов. С повышением влажности от 60 до 80% ППВ возрастают биологическая активность и интенсивность нитрификации. Биологическая иммобилизация усвояемого азота, внесенного с минеральными удобрениями, максимальная в условиях низкой влажности (40% ППВ) и, наоборот, низкая – в переувлажненных почвах (80% ППВ). Следовательно, орошение этих почв оказы-

вает благоприятное влияние на их азотный режим и на эффективность вносимых минеральных удобрений.

Высокая влажность почвы имеет большое значение особенно при внесении карбамида, поскольку в этом случае усиливается интенсивность аммонификации и активизируется процесс нитрификации удобрения. Однако интенсивное течение этих процессов может привести к росту потерь газообразного аммиака. Такая опасность существует особенно на черноземах. Внесение карбамида в кислые почвы с высокой степенью влажности, особенно при низкой температуре, приводит к накоплению аммиачного азота и аммиачной токсичности. Это показывает, что для создания оптимальных условий аммонификации и нитрификации карбамида оптимальная влажность при его внесении должна колебаться в пределах 50–60% ППВ.

Из сказанного выше следует, что в условиях НРБ влажность почв — один из факторов, определяющих величину и продолжительность микробиологических процессов, протекающих после внесения удобрений. Экспериментальные данные свидетельствуют о зависимости интенсивности процессов минерализации от степени увлажнения почвы. Внесение удобрений при повышенной влажности черноземов, серых и бурых лесных почв активизирует многие биологические процессы, что способствует повышению эффективности минеральных удобрений. При высокой влажности интенсивно происходит минерализация микробной биомассы, содержащей значительные количества усвояемых питательных веществ, внесенных с минеральными удобрениями. Повышение степени увлажнения всех обследованных почв способствует созданию условий, благоприятных для процесса нитрификации. При интенсивно протекающем процессе (в карбонатных и типичных черноземах и т. д.) высокая влажность почв при внесении азотных удобрений может вызвать большие потери газообразного азота. При внесении удобрений в переувлажненную почву, содержащую пожнивные остатки, процессы минерализации активизируются, что приводит к включению усвояемых питательных веществ в микробную массу и предотвращению потерь азота от денитрификации и вымывания. Следовательно, при внесении удобрений необходимо учитывать степень увлажнения почвы с точки зрения ее влияния на биологические свойства почвы; это позволит повысить эффективность вносимых минеральных (азотных) удобрений.

ТЕМПЕРАТУРА ПОЧВЫ И ПРИМЕНЕНИЕ УДОБРЕНИЙ

Сроки внесения удобрений оказывают различное влияние на развитие культур и эффективность вносимых питательных веществ. Один из факторов, обуславливающий эти различия, — температура, которая тесно связана с развитием микрофлоры. Поэтому исследования изменений численности и состава микрофлоры, происходящих после внесения удобрений в условиях различной температуры, весьма актуальны. Как показывают результаты исследования, проведенные болгарскими учеными, температура почвы при внесении удобрений существенно сказывается как на численности, так и активности микрофлоры.

При 16°C в черноземах численность микрофлоры высокая, динамика

ее роста существенно меняется от вносимых удобрений и органических веществ и незначительно — от влажности почвы. При 4°C количество основных групп микроорганизмов (аммонификаторов, нитрификаторов, денитрификаторов, актиномицетов) в целом низкое, однако значительно возрастает под влиянием вносимых минеральных удобрений. Процессы минерализации при указанной температуре протекают слабо. По-видимому, при низкой температуре происходит некоторое снижение количества CO_2 , выделяемого в почвенный воздух. Наиболее высоко количество выделяемого CO_2 при температуре 4°C через 30 дней после внесения удобрений.

Следовательно, низкая температура в черноземах вызывает снижение численности основных групп микроорганизмов. Меняется также и состав микрофлоры (рис. 14). При 4°C наблюдается тенденция к увеличению общего количества аммонифицирующих бактерий и флуоресцентных бактерий рода *Pseudomonas* (*Ps. fluorescens*). Можно предположить, что в данном случае происходят процессы аммонификации, однако аммонифицируются легкоминерализующиеся азотсодержащие органические вещества.

В зависимости от температуры черноземов происходят значительные изменения также в составе микроорганизмов. При 16°C встречаются значительные количества аммонифицирующих бактерий и актиномицетов, причем как при влажности 40%, так и 60–80% ППВ. Этот факт свидетельствует о том, что при 16°C условия для процессов минерализации являются благоприятными при любой влажности почвы. Увеличение численности актиномицетов при 16°C — признак интенсивной минерализации трудноразлагающихся органических веществ в почве. При 4°C и различной степени влажности почвы в черноземах наблюдается тенденция к увеличению численности бактерий, использующих для своего питания органический азот, особенно при наличии в почве растительных остатков. Снижается численность аммонифицирующих бактерий. Следовательно, при низкой температуре почвы увеличивает-ся численность микроорганизмов, участвующих в иммобилизации усвояемого азота. Это дает основание предполагать, что при низких температурах (зимой) в почве происходит торможение интенсивности процессов минерализации и доминирует иммобилизация.

Количество аммиачного и нитратного азота в черноземах после удобрения почв при различной температуре существенно разли-

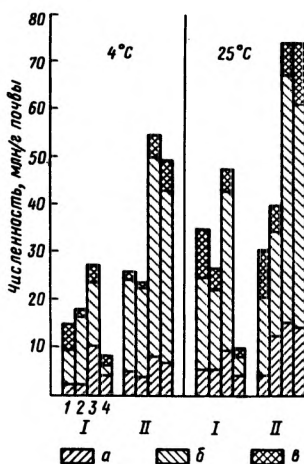


Рис. 14. Влияние температуры на численность основных групп почвенных микроорганизмов:

1, 2, 3, 4 — численность микроорганизмов через 15, 30, 45 и 60 дней после внесения удобрений. I — почва; II — запаханная стерня; а — аммонифицирующие бактерии; б — бактерии, усваивающие минеральный азот; в — актиномицеты.

чается. Наибольшее количество аммиачного азота накапливается при низкой температуре почвы, что показывает на снижение интенсивности нитрификации. При 16°C в течение 60 дней после внесения удобрений в почве отмечается постоянное снижение содержания аммиачного азота и возрастание нитратного, т. е. при 16°C интенсивность процессов нитрификации увеличивается. При низкой (4°C) температуре в течение 60 дней снижается количество усвояемого азота. Эти данные свидетельствуют о том, что в первые дни после внесения удобрений в условиях низкой температуры почвы происходит активная биологическая иммобилизация азота вследствие увеличения в этих условиях численности микрофлоры, совершающей этот процесс.

Данные модельных опытов показывают, что в черноземах после внесения удобрений иммобилизация усвояемого азота при 4°C является более высокой, чем при 16°C (рис. 15). Вносимый в почву карбамид при низкой температуре подвергается минерализации, но не нитрификации, и в этом случае аммиачный азот иммобилизуется в большей степени, чем нитратный. Аналогичные результаты о влиянии температуры на биологические свойства почв получены также на типичных и выщелоченных коричневых лесных, темно-серых и серых лесных почвах (Войнова, 1977), т. е. температура оказывает влияние на микрофлору независимо от типа почвы (рис. 16).

Данные модельных опытов, проведенных на псевдоподзолистых коричневых лесных почвах, характеризующихся плохими биологическими свойствами, показывают, что на этих почвах удобрение и различная температура по-разному сказываются на жизнедеятельности почвенной микрофлоры. При внесении удобрений при 16°C увеличивается в основном численность аммонифицирующих бактерий и актиномицетов. Нитрифицирующая активность в этих почвах бывает относительно высокой. После внесения удобрений, особенно карбамида, при 4°C в почве содержится в основном аммиачный азот. Биологическая иммобилизация при низкой температуре высока.

В целом можно сказать, что применение удобрений в условиях низких температур (зимой) снижает интенсивность процессов минерализации и усиливает иммобилизацию, которая предохраняет усвояемый азот от вымывания и миграции по глубине почвенного профиля. Приведенные результаты позволяют объяснить низкое содержание нитратов в грунтовых водах (Динчев, 1974) и показывают, что в большинстве почв Болгарии, за исключением легких, не существует большой опасности весеннего вымывания части азотных минеральных удобрений. Это имеет важное значение для заделки азотных удобрений осенью вместе с запашкой пожнивных остатков предшествующих культур.

Усвояемый азот в большинстве почв иммобилизуется в основном бактериями, мертвая масса которых легко разлагается. Это обуславливает быструю реминерализацию иммобилизованного азота и объясняет увеличение аммонифицирующей и нитрифицирующей активности почв весной [23, 25], когда повышение температуры усиливает минерализацию иммобилизованного зимой азота.

При внесении азотных удобрений осенью при низкой температуре

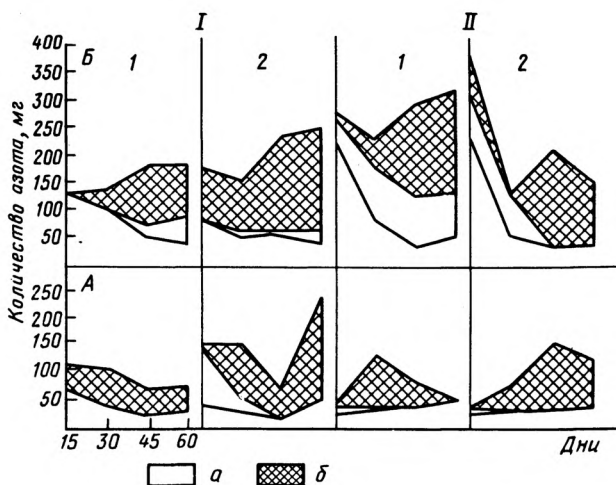


Рис. 15. Иммобилизация азота в карбонатном черноземе:
 А — 16°С; Б — 4°С; I — аммиачная селитра; II — карбамид; 1 — 40% ППВ; 2 — 80% ППВ; а — аммиачный азот; б — нитратный азот.

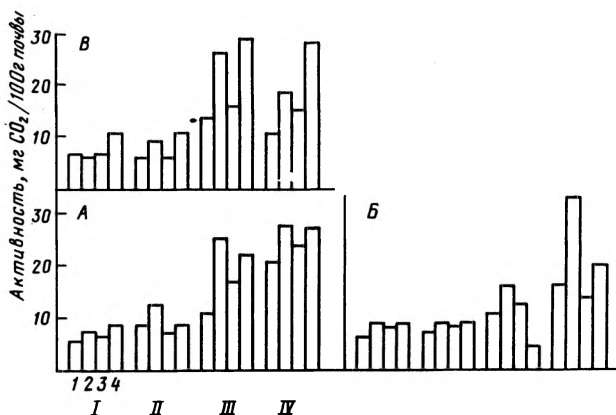


Рис. 16. Влияние температуры и других факторов на биологическую активность почвы:
 А — 4°С; Б — 15°С; В — 25°С; I — пар; II — запаханная стерня; III — внесение НРК; IV — внесение НРК + заплата стерни; 1, 2, 3, 4 — активность почвы через 15, 30, 45 и 60 дней после внесения удобрений.

не возникает опасности вымывания питательных веществ. В этих условиях происходит биологическая иммобилизация азота удобрений и он накапливается в почве в органической форме. При возделывании культур (бобовые, табак, хлопчатник и др.), которые не переносят разовые высокие дозы азотных удобрений, можно искусственно вызывать иммобилизацию части азота внесением (запашкой) органического материала, усиливающего иммобилизацию. В этом случае в течение вегетационного периода в почву постоянно будет поступать усвояемый азот.

Результаты исследований микробиологических процессов, происходящих в почвах Болгарии при внесении азотных удобрений, показывают, что осенью или рано весной в один прием можно вносить всю норму удобрений без опасности существенных потерь азота.

ОРГАНИЧЕСКИЕ ОСТАТКИ И ВНЕСЕНИЕ УДОБРЕНИЙ

Один из факторов, оказывающих наибольшее влияние на развитие микрофлоры, — содержание органического вещества в почве. Органическое вещество — источник энергии для развития микроорганизмов, которые, разлагая его, вовлекают в биологический круговорот веществ. Внесение минеральных удобрений и наличие органических остатков создают в почве различные условия для развития микрофлоры (рис. 17). Изменения в популяциях микроорганизмов зависят не только от вносимых удобрений, но также от состава и количества органических остатков в почве, комплексного влияния влажности и температуры на разложение этих остатков. При внесении удобрений после различных предшественников микрофлора почвы меняется в зависимости от количества и состава органических остатков почвы.

В модельных опытах при продолжительном (6 мес.) компостировании почвы с органическим веществом наблюдается увеличение численности аммонифицирующих бактерий и актиномицетов [27, 30]. Влияние удобрений на микрофлору зависит в большой степени от состава органического вещества. Значительно увеличивается численность микроорганизмов при компостировании органического вещества с высоким содержанием азота. В этих случаях возрастают интенсивность процессов аммонификации и поступление аммиачного азота в почву. Нитрифицирующая активность почвы также увеличивается. Снижение ее отмечается только в тех случаях, когда совместно с удобрениями запахивают солому или корневые остатки, бедные азотом. О том, что в почву действительно поступает мало азота при внесении удобрений и наличии в ней соломы, свидетельствуют данные о снижении целлюлозоразлагающей активности (рис. 18).

При внесении удобрений и органических остатков в почвенном воздухе резко возрастает содержание двуокиси углерода.

Динамика развития микрофлоры следующая: в течение второго месяца после внесения удобрений увеличивается численность аммонифицирующих бактерий, причем в основном аспорогенных форм. По-видимому, в этот период наиболее интенсивно происходит минерализация органического вещества. В конце 6-го месяца возрастает количество спорообразующих

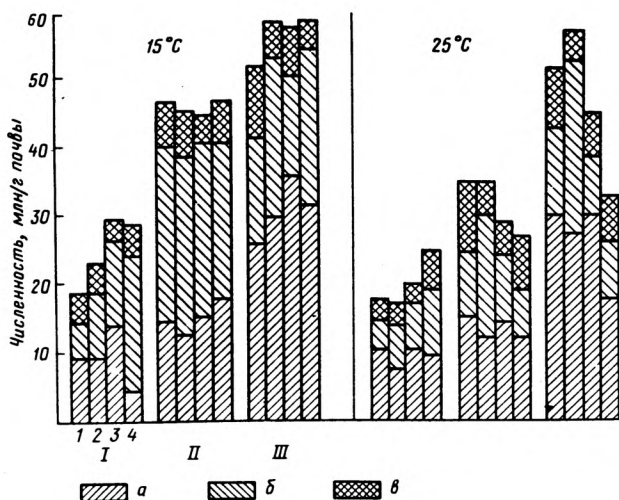


Рис. 17. Влияние органических остатков различного состава на численность микроорганизмов:

I – NPK; *II* – NPK + остаток пшеницы; *III* – NPK + остаток люцерны; 1, 2, 3, 4 – численность микроорганизмов через 15, 30, 45 и 60 дней после внесения удобрений; *а* – аммонифицирующие бактерии; *б* – бактерии, усваивающие минеральный азот; *в* – актиномицеты.

аммонификаторов. Приведенные результаты подтверждают гипотезу Мишустина [59], по которой аммонификаторы участвуют в первых фазах минерализации, когда разлагаются трудноминерализующиеся компоненты органического вещества. В последующие фазы минерализации увеличивается численность актиномицетов, существенный рост которых вызывает применение минеральных удобрений.

Следовательно, воздействие удобрений, оказываемое на почвенную микрофлору, зависит от наличия в почве пожнивных остатков предшествующих культур и их состава. При наличии в почве пожнивных остатков бобовых культур внесение минеральных удобрений ускоряет процессы минерализации, а злаковых – иммобилизации.

Таким образом, состав и количество органических остатков, находящихся в почве, влияет на происходящие в ней микробиологические процессы. При внесении удобрений они становятся наиболее действенным фактором изменения биологических свойств почвы. Органические вещества с высоким содержанием азота (пожнивные остатки бобовых культур) положительно влияют на процессы, связанные с поступлением усвояемого азота в почву, а органические вещества, бедные азотом (злаковые культуры), – неблагоприятно.

Установленные до настоящего времени изменения в почвенной микрофлоре после внесения удобрений при наличии пожнивных остатков зависят от типа почвы, в связи с этим были проведены лабораторные модельные и полевые опыты на различных почвах. При внесении в карбонатный чернозем азотных и фосфорных удобрений в отсутствие в почве органических остатков увеличивается численность актиномицетов, участвующих в минерализации трудноразлагающихся органических веществ. При внесении в эти почвы удобрений и запашке соломы или остатков люцерны значительно увеличивается численность микрофлоры, меняется ее состав, который в значительной степени зависит от состава органического вещества и в меньшей — от минеральных удобрений. При заделке пожнивных остатков злаковых культур (бедных азотом) возрастает численность бактерий, использующих минеральный азот и совершающих в течение продолжительного времени (от 2 до 3 месяцев) его иммобилизацию. При запашке пожнивных остатков бобовых культур увеличиваются численность аммонифицирующих бактерий и, следовательно, поступление усвояемого азота в почвы.

Под влиянием вносимых органических веществ в этих почвах значительно повышается активность ферментов: инвертазы, протеазы и уреазы (рис. 19).

Следовательно, при внесении в карбонатные черноземы минеральных удобрений одновременно с органическими остатками интенсивнее происходят процессы минерализации и иммобилизации, повышается общая

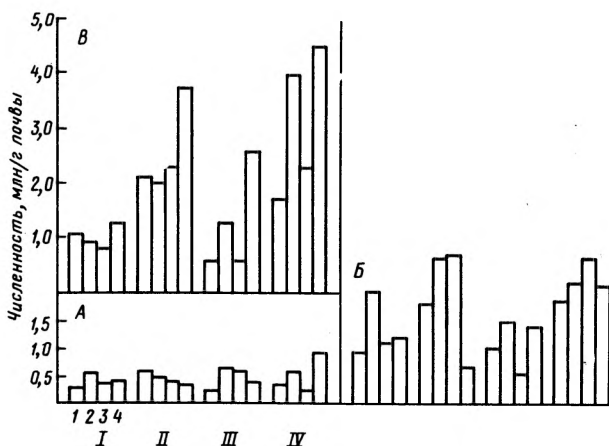


Рис. 18. Влияние различных факторов на численность целлюлозо-разлагающих микроорганизмов в почве:

A — 4°C; Б — 15°C; В — 25°C; I — пар; II — запаханная стерня; III — внесение NPK; IV — внесение NPK + заплата стерни; 1, 2, 3, 4 — численность микроорганизмов через 15, 30, 45 и 60 дней после внесения удобрений.

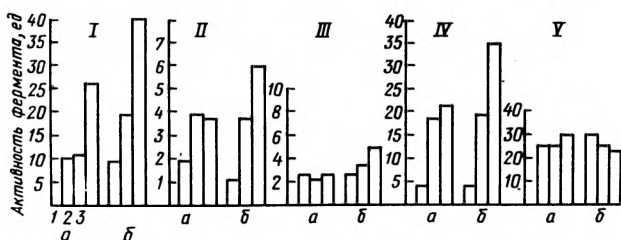


Рис. 19. Влияние влажности почвы и удобрений на ее ферментативную активность:

I – инвертаза, мг глюкозы/г почвы; *II* – протеаза, мг глицина/г почвы; *III* – уреаза, мг $N-NH_3$ /г почвы; *IV* – фосфатаза, мг P_2O_5 /г почвы; *V* – каталаза, мг O_2 /2 мин; 1 – NPK; 2 – NPK + соевый шрот; а – 40% ППВ; б – 80% ППВ.

биологическая активность этих почв в зависимости от состава органического вещества, которое вместе с удобрением запахивают в почву.

В выщелоченных черноземах после внесения удобрений и при наличии в почве пожнивных остатков предшественников сильно возрастает численность аммонифицирующих бактерий. Численность бактерий, использующих минеральный азот и участвующих в его иммобилизации, зависит от количества вносимых минеральных удобрений. Она увеличивается в короткий срок (1-2 нед) после внесения удобрений. После внесения минеральных удобрений при наличии органических остатков бобовых предшественников в этих почвах так же, как и в карбонатных черноземах, увеличивается выделение CO_2 в почвенный воздух.

Внесение минеральных удобрений одновременно с органическими остатками влияет на нитрифицирующую активность выщелоченных черноземов, которая снижается в вариантах с органическим веществом, бедным азотом, и почти не меняется при внесении удобрений вместе с богатыми азотом пожнивными остатками.

В черноземах внесение минеральных удобрений и органических остатков, бедных азотом, слабо влияет на численность денитрифицирующих бактерий. Резкое снижение содержания нитратов тормозит денитрификацию и снижает потери газообразного азота. Этот факт противоречит данным многих исследований, в которых установлено, что при запашке органического вещества с низким содержанием азота активно размножаются денитрифицирующие бактерии. Аэробные условия подавляют процессы биологической иммобилизации азота, снижают содержание нитратного азота, что приводит к снижению численности денитрифицирующих бактерий. На основании этого факта следует считать, что при хорошей аэрации и влажности почвы в период внесения минеральных удобрений и при наличии органических остатков существенные потери азота вследствие денитрификации не наблюдаются. Усвояемый азот в этих случаях включается в белки микробных клеток и остается в почве.

Внесение минеральных удобрений в черноземы при наличии в них органических остатков существенно сказывается на размножении азото-

бактера, численность которого увеличивается примерно в течение 2 недель после внесения удобрений [27, 30]. В этих условиях органические вещества в почве, которые являются источником углерода для азотобактера, ограничивают вредное для жизнедеятельности микроорганизмов влияние минеральных азотных удобрений из-за снижения содержания усвояемого азота вследствие иммобилизации. Внесение минеральных удобрений и запашка корневых и пожнивных остатков, следовательно, приводят к обогащению черноземов азотфиксирующими бактериями, в связи с чем увеличивается поступление в почву атмосферного азота.

Результаты исследований позволяют сделать выводы, что внесение минеральных удобрений в почву при наличии в ней растительных остатков (осенью или ранней весной) экономит азот удобрений и улучшает азотный режим черноземов. Однако после злаковых предшественников необходимо вносить дополнительные дозы удобрений для компенсации иммобилизованного азота.

В качестве иллюстрации этого положения можно привести данные изменения численности микрофлоры после внесения удобрений в псевдоподзолистые коричневые лесные почвы, которые по своим свойствам существенно отличаются от карбонатных и выщелоченных черноземов. После внесения минеральных удобрений при наличии пожнивных остатков в этих почвах меняется в основном состав микрофлоры. В отличие от микрофлоры черноземов в этих почвах общая численность микроорганизмов увеличивается за счет актиномицетов, которые разлагают трудноминерализующиеся органические соединения, т. е. происходит полная минерализация органических остатков. Разложение пожнивных остатков может также существенно повысить содержание гумуса в этих почвах.

Результаты исследований, проведенных на других типах почв (коричневые лесные, серые лесные, смолницы), также свидетельствуют о влиянии вносимых минеральных и органических удобрений при наличии растительных остатков на биологические свойства почв. Изменение характера и интенсивности микробиологических процессов приводит к изменениям питательного режима почв. В черноземах, смолницах и коричневых лесных почвах особенно сильно снижается количество усвояемого азота при запашке органической массы, бедной азотом. Все это следует учитывать при внесении удобрений осенью или весной после злаковых предшественников.

Заделка пожнивных остатков в почву в сочетании с внесением минеральных удобрений — полезный прием для улучшения биологических свойств почв вообще, однако следует иметь в виду, что после злаковых предшественников и особенно в почвы с сильно выраженной иммобилизацией азота необходимо вносить более высокие дозы азотных удобрений.

ВЛИЯНИЕ ГЕРБИЦИДОВ НА МИКРОФЛОРУ И МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ПОЧВЕ

В последние два десятилетия во многих странах проведены многочисленные исследования по эффективности и фитотоксичности большого числа используемых гербицидов. Для борьбы с сорняками при возделывании

вании многих культур установлены оптимальные препараты, дозы, сроки и способы их применения. Проведены многочисленные исследования о влиянии гербицидов на микробиологические процессы в почве, которые осуществлялись по двум направлениям: влияние гербицидов на биологические процессы в почве, а также метаболизм и детоксикация гербицидов почвенными микроорганизмами.

Вопрос о воздействии гербицидов на почвенную микрофлору весьма актуален, поскольку необходимо знать, в какой степени применение гербицидов сказывается на жизнедеятельности почвенных микроорганизмов и как это, в свою очередь, влияет на плодородие почвы и питание растений.

Общее количество микрофлоры. Результаты проведенных исследований свидетельствуют о том, что внесение гербицидов в рекомендуемых дозах не подавляет развитие почвенной микрофлоры, а вызывает лишь временную перегруппировку различных микроорганизмов или временное изменение интенсивности биологических процессов в почве [15, 17, 62, 69, 92].

Пошон и др. (по Мишустину, 1964) не обнаружили негативного влияния триазиновых гербицидов, таких как прометон, пропазин, симазин и атразин в дозе 2,5 кг/га на жизнедеятельность микроорганизмов. Препараты на основе 2,4-Д, ДНОК (диназол-50), 2М-4Х, далапон, ИФК и т. д., вносимые в дозах, превышающих рекомендуемые, подавляют развитие почвенных бактерий [136].

На площадях, обработанных гербицидами, активность различных групп почвенных микроорганизмов подавляется обычно через 10–20 дней после внесения препаратов и остается очень низкой в течение нескольких недель, а в отдельных случаях — 2–3 месяцев. Внесение высоких доз некоторых гербицидов может привести к более длительному ингибированию активности почвенной микрофлоры. Например, диназол-50, внесенный в два приема в дозе 18 кг/га, подавляет активность различных групп микроорганизмов более чем на 6 месяцев [14, 15].

Воздействие, оказываемое гербицидами на почвенные микроорганизмы, зависит наиболее часто от их химического состава. Триазин и производные карбамида менее токсичны для почвенной микрофлоры, чем производные фенола. Часто наличие другого атома в молекуле сходных по активности веществ увеличивает их токсичность. Так, наличие атомов хлора в гербицидах, производных карбамида, приводит к увеличению их токсичности для почвенной микрофлоры.

Почвенные микроорганизмы по-разному реагируют на гербициды [4, 15, 89, 106]. Анаэробные бактерии более чувствительны к препарату 2,4-Д, чем аэробные. По данным Мишустина [62, 64], аспорогенные бактерии более устойчивы к гербицидам, чем бактерии рода *Bacillus* и актиномицеты, а наиболее чувствительные — грибы. Штейнбрер и др. [135] также считают, что бактерии более устойчивы к гербицидам, чем грибы. Мицковский [65] отмечает, что спорообразующие бактерии и актиномицеты устойчивы к препарату 2,4-Д. Актиномицеты и грибы чувствительны к гербициду диназол-50, однако ингибирование их жизнедеятельности бывает кратковременным (табл. 4).

К препарату афалон (большим дозам — 4 кг/га) более чувствительны

4. Влияние препарата диназол-50 на численность различных групп микроорганизмов (в % к контролю)

Доза препарата, кг/га	20 дней после обработки			50 дней после обработки		
	бактерии	актиномицеты	грибы	бактерии	актиномицеты	грибы
5	111,4	61,0	62,5	100,1	98,0	200,0
10	71,7	60,0	62,5	65,9	141,7	100,0
15	56,6	48,0	44,0	61,0	141,7	120,0
6 + 6	80,0	66,1	62,5	87,1	120,8	110,0
10 + 8	80,2	60,0	55,1	61,1	120,8	50,0
Контроль (без обработки)	100	100	100	100	100	100

бактерии, менее — актиномицеты или грибы. После применения препарата теноран отмечено ингибирование развития бактерий и актиномицетов и активирование микроскопических грибов [89].

Результаты исследования Штина [104] показали, что препарат 2,4-Д в дозе 2 кг/га не токсичен для почвенных микроорганизмов, низкие дозы этого препарата даже активируют их развитие. К повышенным дозам гербицидов наиболее чувствительны цианобактерии и диатомовые водоросли.

Чувствительность к гербицидам в большой степени зависит от вида и штамма микроорганизмов. При изучении влияния гербицидов 2,4-Д, атразина и симазина на микроорганизмы не отмечено различий в составе бактерий, растущих на мясептоновом агаре, однако численность флуоресцентных бактерий снижалась, а микобактерий — увеличивалась.

При исследовании влияния гербицидов, таких как диназол-50, афалон и димид, взятых в различных концентрациях (0,001–2%), на различные штаммы *B. mycoides*, *B. megaterium*, *B. virgillus* и *B. mesentericus* установлено, что диназол-50 более токсичен для *B. mycoides*, чем для *B. virgillus* и *B. mesentericus*. Наиболее чувствительным к указанным гербицидам оказался *B. mycoides*, штамм 81, размножение которого ингибировалось при концентрации гербицида в питательной среде 0,001%, и наиболее устойчивым *B. virgillus*, штамм 92, который не реагировал ни на одну из изучаемых концентраций. Аналогичное влияние оказывал также препарат афалон: наиболее чувствительными к нему оказались штаммы *B. mycoides*, а устойчивыми — *B. mesentericus*. Токсичность афалона для изучаемых штаммов немного слабее, чем диназола-50. Все изучаемые концентрации димида не были токсичными для штаммов указанных бактерий (Ранков, 1967).

Штейнбрер и др. [135] наблюдали разную чувствительность почвенных микроскопических грибов к препаратам симазина и В-6658, вносимых в питательную среду в дозах от 0,0065 до 0,1650%. В основном изучалась чувствительность штаммов рода *Fusarium*. Препарат симазин для различных штаммов и видов более токсичен, чем В-6658. Аналогичные исследования проводил Штин (1957) с почвенными водорослями. Результаты эксперимента с гербицидом 2,4-Д (концентрация от 0,05 до 0,0005%) показали, что для всех почвенных водорослей токсичными оказались

дозы 0,01 и 0,05%. Однако для вида *Phormidium tenue* токсична даже самая низкая концентрация гербицида. В то же время гербицид в очень низких концентрациях (0,00002%) стимулирует рост некоторых водорослей, например *Chlorella vulgaris*.

Влияние, оказываемое гербицидами на микрофлору, зависит также от физико-химических свойств почв и от агротехнических приемов. Токсичность гербицида для почвенной микрофлоры на легких почвах, бедных органическим веществом, с низкой емкостью поглощения намного больше, чем на почвах с тяжелым механическим составом и высоким содержанием органического вещества. Препарат аретан, например, ингибирует жизнедеятельность почвенных микроорганизмов в различной степени в зависимости от физико-химических свойств почвы [89]. Наиболее высокая токсичность наблюдается на аллювиально-луговых почвах с легким механическим составом и низким содержанием гумуса (1,8%). При этом сильно снижается численность актиномицетов и микроскопических грибов и в меньшей степени численность бактерий, использующих минеральный азот. Токсическое действие указанного гербицида намного слабее при внесении его в смолницу (3,3% органического вещества). Аретан в низких дозах (0,02 г на 1 г почвы) стимулирует размножение микроорганизмов, особенно актиномицетов и микроскопических грибов.

Внесение аретана на удобренную почву с высоким (7,5%) содержанием органического вещества не только не оказывает токсического действия на почвенные микроорганизмы, но даже (во всех исследуемых дозах) стимулирует развитие бактерий.

Влияние симазина на почвенную микрофлору в большой степени определяется агротехническими приемами [15, 131, 136]. Применение симазина и междурядная обработка почвы стимулируют развитие почвенной микрофлоры. В хорошо удобренных почвах ингибирующее действие этого препарата проявляется слабее, чем на почвах, бедных питательными веществами. Следовательно, влияние гербицидов на почвенные микроорганизмы зависит также от удобрения. Метрибуцин на аллювиально-луговой почве слабо ингибировал жизнедеятельность почвенных микроорганизмов при внесении органических (40 т/га навоза) и органо-минеральных (40 т/га навоза + $N_{240}P_{240}K_{240}$) удобрений. При применении одних минеральных удобрений ($N_{240}P_{240}K_{240}$) ингибирующее действие гербицида на почвенную микрофлору также незначительно, наиболее сильно оно выражено на неудобряемых землях. Аналогичные результаты были получены при внесении минеральных удобрений и гербицида аретан в аллювиально-луговые почвы.

Внесение навоза снижает ингибирующее действие гербицида на развитие различных групп микроорганизмов. При увеличении доз вносимого гербицида должны быть увеличены дозы органических удобрений для детоксикации гербицида в почве. Так, в течение 6 месяцев после внесения навоза наблюдается минимальный эффект ингибирования активности микрофлоры. Снижение ингибирующего влияния аретана на жизнедеятельность различных микроорганизмов, отмеченное при удобрении земель навозом, вызвано внесением в почву органического вещества, которое адсорбирует часть гербицида [89]. Следовательно, этот эффект

может иметь место не только на тяжелых и богатых органическим веществом почвах, но также на легких по механическому составу, бедных гумусом почвах, но удобренных навозом.

По мнению многих исследователей, снижение ингибирующего действия гербицидов при внесении удобрений вызвано улучшением питательного режима почвы. Для решения этих особенно важных для практики вопросов необходимо выяснить значение физико-химических свойств почвы и различных агротехнических приемов, имеющих место при воздействии гербицидов на почвенную микрофлору, что позволит прогнозировать токсичность используемых гербицидов.

Аммонифицирующие бактерии, аммонифицирующая активность. Имеются данные о том, что используемые в практике дозы гербицидов не подавляют биологические процессы в почве и активность микрофлоры, связанной с трансформацией азота и углерода в почве [15]. После внесения 2,4-Д, атразина и симазина даже стимулируется развитие этой группы бактерий [15]. Гелер и Харитон [33] установили, что жизнедеятельность аммонифицирующих бактерий ингибируется лишь после внесения высоких доз (от 5 до 8 кг/га) препаратов ТХА, ДХМ и ИФК.

На основании опытов, проведенных с атразином, афалоном, прометрином, котораном А-1803 и А-20886 установлено, что дозы, используемые на практике, не оказывают существенного влияния на интенсивность аммонификации и жизнедеятельность аммонифицирующих бактерий [15].

При внесении на аллювиально-луговую и выщелоченную луговую коричневую почву 2 кг/га симазина, 1,5 кг 2М-4Х, 9 кг алипура, 32 кг аретана, 2 кг арезина, 2 кг капарола, 6 кг димида, 2 кг афалона (однократное или двукратное) и диназола-50 от 5 до 12 кг/га (двукратное) не было установлено токсического воздействия этих гербицидов на аммонифицирующие бактерии и аммонифицирующую активность указанных почв. С увеличением дозы диназола-50, прометрина, афалона и др. возрастает ингибирующее действие на численность и активность аммонифицирующих бактерий, причем в короткий промежуток времени — от 3 до 5 недель после внесения гербицидов. В модельных опытах показано, что на аллювиально-луговой почве и смолнице гербицид диназол-50 (концентрация в питательной среде от 0,001 до 2%) сильно ингибирует развитие аммонифицирующих бактерий; этот эффект усиливается с увеличением концентрации, причем он по-разному проявляется на обоих типах почв. Токсичность гербицида незначительная на выщелоченной смолнице и высокая на легкой по механическому составу глинистопесчаной аллювиально-луговой почве. В обоих типах почв наиболее чувствительны к диназолу-50 оказались аспорогенные аммонифицирующие бактерии. Высокие дозы афалона и димида слабо ингибировали жизнедеятельность указанных бактерий. Высокие дозы димида вызывали некоторое снижение интенсивности аммонификации.

Было проведено также изучение влияния гербицидов афалона и димида на аммонифицирующую активность отдельных штаммов *B. megaterium*, *B. mesentericus*, широко распространенных в почвах Болгарии [30]. При высокой концентрации афалона в питательной среде (свыше 0,2%) подавляется аммонифицирующая активность *B. megatericum*, а при кон-

центрации свыше 0,5% — *B. mesentericus* (рис. 20). Из гербицидов — диназола-50, афалона и димида — для различных штаммов *B. megatericum*, *B. mesentericus* и *B. mycoides* наиболее токсичным оказался диназол-50. Афалон при высоких дозах проявляет слабую токсичность, а димид совсем не токсичен. Следовательно, высокие дозы некоторых гербицидов оказывают ингибирующее действие на развитие аммонифицирующих бактерий и на аммонифицирующую активность почвы.

Нитрифицирующие бактерии и нитрификация. Влияние гербицидов на нитрифицирующие бактерии и нитрификацию зависит от дозы активного вещества, физико-химических свойств почвы, особенно содержания в ней органического вещества, а также от агротехнических приемов, применяемых при возделывании сельскохозяйственных культур. Гербициды в рекомендуемых дозах не подавляют жизнедеятельность нитрифицирующих бактерий [14, 15, 54]. Некоторые аминотриазиновые гербициды: симазин, атразин, эндотал, эптан, алипур, мурбетол, 2,4-Д, НАТА и т. д. активизируют процессы нитрификации, вследствие чего в почве накапливается больше нитратов.

Геллер и Харитон [33] отмечали снижение активности нитрифицирующих бактерий при использовании гербицидов ТХА, ДХМ ИФК в дозах свыше 5–8 кг/га на серых оподзоленных почвах, на слабогумусных и засоленных черноземах.

Гербициды, используемые в борьбе с сорняками при возделывании овощных культур на аллювиально-луговой и выщелоченной луговой коричневой почве, существенно не влияют на развитие нитрифицирующих бактерий [97]. Не были установлены различия в численности нитрифицирующих бактерий на площадях, не обработанных и обработанных гербицидами: симaziном (2 кг/га), булпуром (32 кг/га), арезином (1,5–2 кг/га), преванолом 56 (24 кг/га), А-1803 (2 кг/га), димидом (6 кг/га) и аретаном (6–8 кг/га). Следовательно, нитрифицирующие бактерии относятся к почвенным микроорганизмам, слабо реагирующим на внесение гербицидов, если их не применяют в высоких дозах.

При увеличении доз гербицидов на аллювиально-луговой почве (диназол-50 — доза свыше 10 кг/га, прометрин — 4 кг/га и афалон — 2 кг/га) подавляется развитие нитрифицирующих бактерий в течение 20 дней после внесения препаратов. Следует отметить, что такие дозы гербицидов ока-

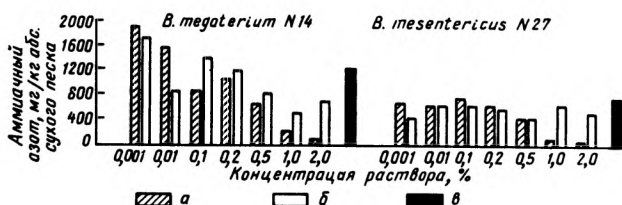


Рис. 20. Влияние афалона (а) и димида (б) при внесении их в питательную среду на аммонифицирующую активность *B. mesentericus* и *B. megaterium*; (в) — контроль.

ились токсичными даже для сельскохозяйственных культур, на которых их испытывали.

Положительное влияние на нитрифицирующую способность выщелоченной луговой коричневой и аллювиально-луговой почвы оказывали гербициды аретан (6 кг/га), арезин (20 кг/га), А-1803 (2 кг/га) и афалон (2 кг/га, внесенный в два приема). Возрастание интенсивности нитрификации отмечалось также после обработки почвы прометрином в дозе 4 л/га (табл. 5).

С наиболее эффективными гербицидами, такими как арезин, диназол-50, димид и афалон, проведены эксперименты с целью выявления токсичной концентрации препаратов на процесс нитрификации в почве. Диназол-50 снижает интенсивность нитрификации почти во всех концентрациях — от 0,001 до 2%. Афалон оказывал больший эффект, когда использовали 1%-ный раствор, а димид — свыше 0,5%-ного раствора. Влия-

5. Изменение нитрифицирующей активности почвы под влиянием некоторых гербицидов (N, мг/кг почвы)

Гербицид	Доза, кг/га или л/га	20 дней после обработки		Конец вегетации	
		нитрифицирующая активность			
		основная	потенциаль- ная	основная	потенциаль- ная
<i>Выщелоченная коричневая луговая почва</i>					
Прометрин	4	50,0	192,8	23,7	190,0
Симазин	2	49,8	197,7	30,7	180,0
Контроль	—	50,1	287,7	34,8	180,0
Афалон	2 + 2	8,3	97,5	20,4	172,0
Контроль	—	83,8	111,9	24,0	176,1
Алипур	5 + 4	37,0	103,9	25,3	148,1
Привентол 56	12 + 12	39,0	143,3	25,0	148,1
Контроль	—	48,6	136,1	33,7	156,2
Аретан	6	70,6	127,1	33,4	155,4
Булпур	20 + 12	37,0	132,1	32,7	150,9
Диназол 50	6 + 6	30,1	105,5	20,9	146,1
Диназол 50	10 + 6	28,1	84,5	24,1	141,0
Контроль	—	28,0	112,0	32,0	180,0
<i>Аллювиально-луговая почва</i>					
Прометрин	2	19,7	66,6	95,5	181,5
Контроль	—	30,8	92,4	92,8	204,5
Диназол 50	6 + 6	12,5	116,7	96,8	200,0
Контроль	—	18,5	149,9	93,5	191,0
Афалон	1 + 1	105,5	262,8	89,3	296,2
Афалон	2	69,6	310,6	70,6	290,0
Контроль	—	92,1	329,5	63,3	271,2
Арезин	2	114,0	371,2	81,2	327,0
A-1803	2	104,4	232,0	92,4	266,5
Контроль	—	119,8	353,4	69,6	271,1
Димид	6	76,0	179,7	—	—
Контроль	—	88,8	131,4	—	—

ние гербицидов атразина, арезина, афалона и А-2086 изучали Пешаков и др. [76] при применении их на виноградниках. По их данным, атразин и афалон незначительно подавляют развитие нитрифицирующих бактерий. Исследовалось также влияние высоких доз этих гербицидов — 0,5; 1 и 2%. Арезин во всех концентрациях подавлял процесс нитрификации, а афалон и А-2086 — лишь при высоких дозах гербицидов. Аналогичное действие оказывал атразин в течение первой недели после внесения, причем ингибирование процесса усиливалось с увеличением концентрации гербицида.

Проведены эксперименты по изучению воздействия гербицидов (диназол-50, аретан, трефлан и В-207) на нитрифицирующую способность почв, обладающих различными физико-химическими свойствами (аллювиально-луговая, выщелоченная луговая коричневая, гумусно-карбонатная и выщелоченная смолница). Ингибирование нитрификации под влиянием гербицидов наиболее сильно проявлялось на легких по механическому составу, слабогумусированных почвах, причем оно усиливалось с увеличением концентрации препаратов. При удобрении почв навозом после обработки гербицидом подавляющее действие аретана на нитрификацию проявляется слабее, чем при внесении фосфорно-калийных удобрений. Положительное влияние удобрений на снижение токсичности гербицидов хорошо выражено на почвах с тяжелым механическим составом и высоким содержанием органического вещества.

Денитрифицирующие бактерии. Исследования влияния гербицидов на денитрифицирующие бактерии немногочисленны, однако полученные результаты аналогичны. В большинстве случаев практически вносимые дозы гербицидов не подавляют развитие этих бактерий. Такие результаты получены при использовании гербицидов атразин, арезин, симазин, афалон, трефлан, А-2086 и т. д. [87]. Следовательно, применение гербицидов не сказывается отрицательно на процесс денитрификации в почве.

Азотфиксирующие бактерии. Применение гербицидов в дозах, используемых на практике, не оказывает существенного влияния на жизнедеятельность азотобактера [15, 87]. Некоторые гербициды даже в более высоких дозах не ингибируют его развития. При обработке аллювиально-луговой почвы афалоном, прометрином и димидом в концентрациях от 0,001 до 2% численность азотобактера незначительно снижалась, причем лишь при концентрациях 1–2% [84].

Устойчивость азотобактера ко многим гербицидам подтверждается результатами исследований, проведенных *in vitro* в стерильных культурах. Гербициды вносили в питательную среду или осуществлялся прямой контакт со штаммами *Az. chroococcum* — реакция отмечалась лишь при использовании относительно высоких концентраций. Из препаратов — афалон, прометрин и димид — токсичным для различных штаммов азотобактера оказался прометрин в концентрации свыше 1%, в то время как димид, даже в высоких концентрациях, оказывал стимулирующее действие на развитие этих микроорганизмов. Слабое ингибирующее действие на различные штаммы азотобактера оказывают препараты рампод, семерон, ТОК Е-25, реглон, грамоксон (табл. 6).

При обработке почвы гербицидами в некоторых случаях отмечается увеличение численности азотобактера. Активное размножение азотобак-

6. Влияние некоторых гербицидов на различные штаммы *Az. chroococcum*
(по методу Торберри)

Штамм №	Токсичность при концентрации, %				
	рамрод	семерон	ТОК-Е-25	реглон	грамоксон
822	2,0	Нет	2,0	0,010	0,001
823	2,0	Нет	2,0	0,010	0,001
824	1,0	Нет	1,0	0,001	0,010
825	1,0	1,0	Нет	0,010	0,001
826	1,0	2,0	Нет	0,010	0,001

тера в ризосфере гороха наблюдалось после внесения атразина, 2,4-Д, симазина; в ризосфере табака — при обработке димидом (Бобишев, Лапченков, 1966) и 2М-4Х [84].

Сравнительно мало данных свидетельствует в пользу положения об ингибирующем действии отдельных гербицидов на развитие азотобактера в почве (рис. 21); снижение численности и ингибирование активности азотобактера отмечено после внесения гербицидов ТХА, ИФК, диназол-50 и тиллам и т. д.

Стимулирование или ингибирование развития азотобактера после обработки почвы гербицидами бывает кратковременным и наиболее часто наблюдается от 7—10 до 30—40 дней.

Действие гербицидов на азотобактер зависит не только от их химического состава и внесенной дозы, но также от чувствительности отдельных видов и штаммов азотобактера, от условий среды и т. д., чем можно объяснить противоречивые сведения о влиянии отдельных гербицидов. По данным Мадж и Кольмер (по Мишустину, 1964), *Az. chroococcum* более чувствителен к гербициду 2,4-Д, чем *Az. agille* и *Az. vinelandii*. Отдельные штаммы *Az. chroococcum*, изолированные из почв Болгарии, также имеют различную чувствительность к гербицидам [15].

Данные о влиянии гербицидов на *Cl. pasteurianum* немногочисленны. Гербициды прометрин, афалон, арезин, димид, алипур, привентол-56, капарол, А-1803, трефлан и т. д. не ингибируют развитие этих азотфиксирующих бактерий (Ранков, 1966). При внесении 2М-4Х незначительно и на короткий срок (до 20 дней) стимулируется жизнедеятельность *Az. chroococcum* и ингибируется после использования симазина. Стимуляция развития этих бактерий происходит в ризосфере гороха после обработки посевов 2,4-Д, в ризосфере кукурузы и люпина — после обработки симазин, атразином и т. д.

Биологическая фиксация атмосферного азота клубеньковыми бактериями обусловлена в значительной степени интенсивностью образования клубеньков. На этот процесс оказывают влияние следующие факторы: физические, химические и биологические свойства почвы — содержание и соотношение доступных макро- и микроэлементов в ней, агротехнические приемы и т. д. В последние годы проводится все больше исследований по определению степени влияния различных гербицидов на образование клубеньков бобовыми растениями [97, 127]. Многие гербициды в дозах, используемых на практике, оказывают существенное влияние

на развитие клубеньковых бактерий. В некоторых случаях обработка гербицидами не нарушает симбиоз между клубеньковыми бактериями и бобовыми растениями. Чесалин (1964) отмечал в большинстве случаев при применении гербицидов торможение развития клубеньковых бактерий, а гербицид 2,4-Д, даже в низких концентрациях, подавлял образование клубеньков у фасоли. Незначительные количества симазина в почве оказывали сильное влияние на образование клубеньков у гороха. Из всех изучаемых гербицидов лишь один аретит не ингибировал развитие растений и не вызывал изменений в содержании белков [89].

Влияние гербицида трефлан на образование клубеньков у фуражного гороха различно и зависит от срока обработки. При внесении гербицида за 13–27 дней до посева культуры отмечается значительная стимуляция образования клубеньков, а применение в день посева – торможение [124]. У бобовых культур этот препарат также приводит к ингибированию образования клубеньков. Стимуляция образования клубеньков у фуражных бобовых культур отмечается при обработке посевов хлоразимом, динобоном, бутифеном и алипуром [70]. При использовании амибена и обработке семян нитрагином значительно увеличиваются число и масса клубеньков, а также масса целого растения и содержание общего азота. При применении гербицидов аретана, тенорана и прометрина незначительно стимулируется образование клубеньков на корнях гороха [20].

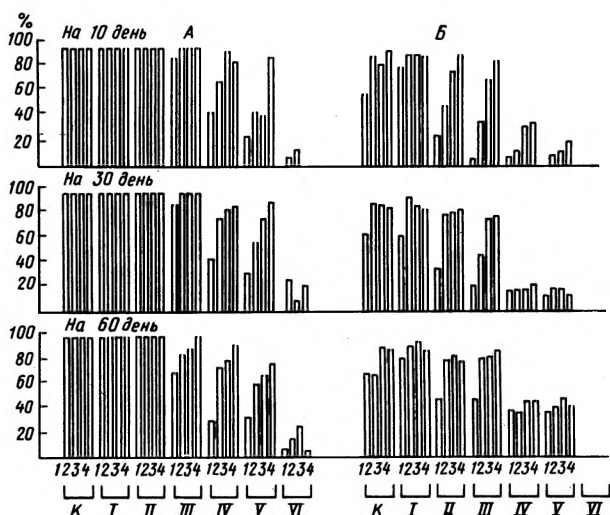


Рис. 21. Влияние разных доз удобрений и аретита на развитие азотобактера:

А – навоз + аретит одновременно; Б – навоз за 6 месяцев до обработки аретитом; I – без удобрений; 2 – 30 т/га навоза; 3 – 60 т/га навоза; 4 – 120 т/га навоза; К – контроль (без аретита); обработка аретитом, мг д. в. на 1 кг почвы: I – 0,8; II – 8; III – 80; IV – 400; V – 800; VI – 4000.

Эта стимуляция сопровождается увеличением размера корневой системы, надземной части и повышением урожайности культуры. У фасоли наиболее эффективен капарол (А-1803), при внесении которого число клубеньков на корнях растений возрастает в 10 и их масса — в 8 раз по сравнению с этими величинами у необработанных растений (табл. 7). Число и масса клубеньков фасоли значительно возрастают также после обработки посевов препаратами арезин и аретан; прометрин оказывает слабое влияние на процесс образования клубеньков. Значительное число клубеньков обработанных растений имело маленькие размеры. Эти данные позволяют предположить, что стимуляция образования клубеньков происходит в начальные фазы развития фасоли [86]. При обработке площадей арезин (1,5 кг/га), аретаном (8 кг/га), прометрином (2кг/га) и капаролом (А-1803, 2 кг/га) после посева, но перед появлением всходов бобовых стимулируется образование клубеньков на корнях в начальные фазы развития фасоли. Все гербициды, за исключением паторана, сначала ингибируют, а затем стимулируют этот процесс, причем существует положительная корреляция между интенсивностью образования клубеньков и урожайностью. Максимальные урожаи зерна получены на площадях, на которых обработка арезин проводилась в наиболее благоприятный период для образования клубеньков.

Возникает вопрос, вызваны ли эти изменения в образовании клубеньков под влиянием различных гербицидов, реакцией клубеньковых бактерий рода *Rhizobium* или реакцией бобовых растений? Результаты опытов, проведенных с 11 сортами фасоли при летнем посеве после обработки трефланом, показывают (табл. 8), что через 40 дней после всходов образование клубеньков ингибируется у сортов Топ Кром, Перл Грийн, Метеор, Консерва, Вакс Квитлинга, Харвестер, Стелла и через 85 дней — у сорта Логон [86]. У сортов Козика, Логон, Сакса и Просесор в течение 40 дней образование клубеньков происходит интенсивно. В конце периода вегетации у большинства сортов фасоли образование клубеньков происходит интенсивно. Следовательно, отдельные сорта различаются чувствительностью к препарату трефлан, и процесс образования клубеньков зависит, по-видимому, в основном от реакции растений. Карлил и Тнорп (по Мишустину, Шильниковой [63]) считают также, что изменения, наблюдаемые в образовании клубеньков на корнях фасоли после обработки 2,4-Д, обусловлены главным образом чувствительностью растений к гербици-

7. Образование клубеньков на корнях фасоли при внесении различных гербицидов в почву

Гербицид	Доза, кг/га	Клубеньки на корнях 10 растений			
		число	%	г	%
А-1803	2	8010	988,89	61,15	789,03
Арезин	1,5	4550	511,73	29,85	400,67
Аретан	8	3860	476,54	20,54	265,03
Прометрин	2	2400	296,30	16,86	217,55
Контроль (необработанные растения)	—	810	100	7,75	100

8. Образование клубеньков на корнях различных сортов фасоли после внесения в почву трефлана в дозе 1,5 л/га (среднее с 10 растений) (по Ранкову и Еленкову, 1970)

Сорт	Число клубеньков через 40 дней после всходов			Число клубеньков через 85 дней после всходов		
	контроль	трефлан	% к контролю	контроль	трефлан	% к контролю
Топ Кром	813	163	20,1	63	327	519,1
Перл Грийн	119	18	15	40	160	402,5
Метеор	225	35	15,6	37	14	37,8
Консерва	58	0	0	45	78	173,3
Логон	77	188	224,2	27	110	407,4
Сакса	25	73	292,0	28	89	317,9
Вакс Квитлинг	63	5	7,9	59	53	89,8
Козика	293	858	292,8	131	27	20,6
Харвестер	783	583	74,5	27	196	725,9
Стелла	666	578	86,9	37	68	183,8
Просесор	208	500	240,4	7	78	1114,0

ду. По мнению Флетчер и других (1960), ингибирование образования клубеньков в присутствии токсических веществ, к которым относятся и пестициды, происходит вследствие торможения развития корневой системы и корневых волосков, в связи с чем снижается поверхность, на которой могут образовываться клубеньки.

Результаты исследований, проведенных *in vitro* со стерильными культурами, показывают, что клубеньковые бактерии обладают различной чувствительностью к отдельным гербицидам. Так, влияние растворов атразина и симазина в концентрации от 5 до 50% на размножение клубеньковых бактерий в корневой зоне вики, люцерны, клевера и эспарцета было незначительным. Различным, но также слабым было влияние гербицидов 2,4-Д и других хлорфеноксикислот в концентрации от 0,01 до 0,05% на жизнедеятельность штаммов *Rh. meliloti*, *Rh. trifolii*. Тнорп и Карлаи делят клубеньковые бактерии, в зависимости от их отношения к 2,4-Д, на две группы: а) чувствительные, не снижающие активность при концентрации гербицида от 0,03 до 0,04% (*Rh. trifolii* и *Rh. leguminosarum*); б) слабо-чувствительные, выдерживающие концентрацию гербицида до 3% (*Rh. phascoli*; *Rh. lupini*, *Rh. meliloti*, *Rh. japonicum*). По мнению некоторых исследователей чувствительными к 2,4-Д являются *Rh. phascoli* и *Rh. japonicum*, а не *Rh. trifolii*, которые не реагировали на повышение концентрации 2,4-Д до 2%.

На основании приведенных данных можно сделать следующие выводы: используемые в сельскохозяйственной практике гербициды не оказывают негативного влияния на жизнедеятельность азотфиксирующих бактерий. Развитие свободноживущих азотфиксаторов (*Az. chroococcum* и *Cl. pasteurianum*) ингибировали лишь некоторые из применяемых гербицидов. Более чувствительны к действию гербицидов клубеньковые бактерии, вследствие чего гербициды влияют на процессы образования клубеньков. Во избежание нарушений симбиотической азотфиксации необходимо

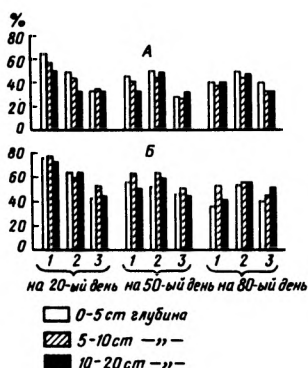


Рис. 22. Влияние трефлана на целлюлозоразлагающую активность почвы:

1 — доза гербицида 1 л/га; 2 — 4 л/га; 3 — контроль; А — основная активность; Б — потенциальная активность; а, б, в — 20, 50 и 80 дней после обработки.

проводить тщательные исследования воздействия гербицидов, применяемых под бобовые культуры, на жизнедеятельность микрофлоры.

Целлюлозоразлагающая микрофлора.

После внесения гербицидов целлюлозоразлагающая способность почвы меняется. Гербициды в дозах, применяемых на практике,

не подавляют развитие целлюлозоразлагающих бактерий [15]. Результаты исследований, проведенных авторами, показали, что препараты ТОК Е-25, реглон, грамоксон, аретан и димид не оказывают отрицательного влияния на целлюлозоразлагающую активность почвы (рис. 22). Гербициды аресин, афалон, рамрод и семерон даже ускоряют разложение целлюлозы. Стимулирующее действие этих гербицидов на целлюлозоразлагающую активность более значительно в аллювиально-луговых почвах, а менее — в луговых коричневых, гумусно-карбонатных и выщелоченных луговых коричневых почвах [40]. Процесс разложения целлюлозы наиболее активен в течение 3–7 недель после внесения гербицида.

Трефлан в дозах от 1 до 4 л на 1 га активизирует процесс разложения целлюлозы в почве. Наиболее значительно меняется целлюлозоразлагающая активность почвы в слое 0–10 см в течение 50 дней после обработки посевов гербицидом. При дозе 1 л/га целлюлозоразлагающая активность почвы в слое 0–5 см возрастает по сравнению с контролем на 87%, в слое 5–10, см — на 56%. Самая низкая интенсивность разложения целлюлозы отмечена при дозе трефлана 4 л/га.

Гербициды аресин, афалон и трефлан, по-видимому, используются для питания целлюлозоразлагающих микроорганизмов, в результате чего активизируется их развитие и, как следствие, возрастает целлюлозоразлагающая способность почвы. Аресин (производный карбамида), добавленный в питательную среду Хачинсона в качестве источника азота в концентрациях от 0,01 до 0,2%, либо не меняет, либо увеличивает численность целлюлозоразлагающих микроорганизмов по сравнению с выросшими на стандартной питательной среде. После добавления аресина увеличивается численность бактерий рода *Pseudomonas* и актиномицетов, активно использующих азот карбамида [80]. Изменения численности и активности целлюлозоразлагающей микрофлоры можно использовать в качестве показателя изменений, происходящих в почве после внесения гербицидов.

УЧАСТИЕ МИКРОФЛОРЫ В ДЕТОКСИКАЦИИ ГЕРБИЦИДОВ

Во многих странах, в том числе и в Болгарии, проводятся исследования по превращению и детоксикации гербицидов в почве [14, 15]. Гербициды различаются по продолжительности действия и последствия в почве. Передвижение, накопление и превращение гербицидов в почве зависит как от химического состава, дозы и формы препарата, так и растительного покрова, физико-технических и биологических свойств почвы, сезона и т. д. Детоксикация гербицидов в почве протекает по физико-химическому, химическому и биологическому путям.

В последние годы накапливается все больше данных, свидетельствующих о том, что решающим фактором для активации процессов детоксикации гербицидов являются почвенные микроорганизмы. Детоксикация некоторых гербицидов не начинается или протекает в несколько раз медленнее в стерильной почве, чем в естественных условиях (Шитс, 1959; Хитл, 1954 и др.). Скорость разложения препарата амитрол, как показал анализ 55 почвенных образцов, зависела от численности и активности микроорганизмов [114]. Аналогичные данные получены и по инактивации атразина в различных почвах.

Гербициды разлагаются под влиянием почвенных микроорганизмов, превращаясь в доступные соединения, используемые в дальнейшем в качестве источника питания или энергии.

Микроорганизмы играют решающую роль в разложении 2,4-Д [129, 107]. В стерильной почве 2,4-Д сохраняет фитотоксичность длительное время, а при заражении такой почвы микроорганизмами разложение препарата протекает интенсивно. Известны и другие виды почвенных микроорганизмов, способные разлагать 2,4-Д. Аудус [108, 109] выделил штамм бактерии *B. globiforme*, развивающийся на питательной среде, где 2,4-Д использован в качестве единственного источника углерода, образующегося в результате разложения препарата. Были выделены также бактерии рода *Azotobacter*, нормально развивающиеся на питательной среде, в которой источником углерода является 2,4-Д. Имеются и другие данные, свидетельствующие о том, что различные почвенные бактерии способны инактивировать 2,4-Д или 2М-4Х, если их используют в качестве источника углерода. Гербицид 2,4-Д разлагается довольно быстро, 2М-4Х медленнее и 2,4,5-Т очень медленно. Инактивация в почве препаратов 2,4-Д и 2М-4Х в большей степени обусловлена влиянием микроорганизмов, чем разложение гербицида 2,4,5-Т.

Механизм разложения гербицидов в почве является предметом многих исследований.

Из гербицидов, производных карбамида, на практике используют фенурон, монурон, диурон, монолинурон, линурон, метобромурон, метоксибромурон, хлороксурон, сидурон, тиурон и т. д. Температура и влажность, благоприятные для развития и жизнедеятельности почвенных микроорганизмов, ускоряют инактивацию этих гербицидов в почве. Данные многочисленных исследований, проведенных в стерильной и нестерильной почве, свидетельствуют о том, что микрофлора активно участвует в разложении перечисленных выше гербицидов. Почвенные микроорганизмы

родов *Xanthomonas*, *Bacillus*, *Penicillium*, *Aspergillus* и т. д. способны использовать препарат монурон в качестве единственного источника азота. Гайсбюллер и др. (1963) показали, что 25–35% внесенного тенорана разрушается в гумусной почве в течение 8 недель.

Исследования *in vitro* более чем 80 штаммов почвенных микроорганизмов показали, что некоторые штаммы *B. mycoides*, *B. mesentericus*, *Ps. fluorescens*, *Asp. niger*, *Asp. flavus*, *P. clavigerum*, *P. notatum* и т. д. способны использовать гербициды монолинурон и линурон в качестве источника азота.

Для борьбы с однолетними сорняками в последние годы стали широко применять некоторые производные триазина — симазин, атразин, прометрин, десметрин и т. д., характеризующиеся высокой селективностью по отношению к сельскохозяйственным культурам и относительно высокой эффективностью. Однако эта группа препаратов отличается большой устойчивостью в почве. В последние годы в литературе накапливается все больше данных об участии почвенных микроорганизмов в инактивации триазиновых гербицидов [15]. Разложение симазина зависит от температуры и количества гумуса в почве. Инактивация симазина и атразина протекает быстро при наличии благоприятных условий для развития почвенных микроорганизмов.

Почвенные микроскопические грибы наиболее активно используют азот прометрина и атразина и в меньшей степени — симазина и пропазина. Актиномицеты в качестве источника азота используют прометрин. Симазин в почве разлагается преимущественно под влиянием грибов и актиномицетов. Грибы, такие как *A. tereus*, *P. conescens*, *Trichoderma lignorum* и т. д., разлагают до 90% и более гербицидов, внесенных в питательную среду [14].

Симазин в почве также способен разлагать бактерии родов *Arthrobacter*, *Bacillus*, *Corynebacterium*, некоторые актиномицеты (род *Streptomyces*) и микроскопические грибы родов *Aspergillus*, *Fusarium*, *Penicillium* и *Trichoderma*; атразин — микроскопические грибы родов *Penicillium*, *Trichoderma* и бактерии рода *Bacillus*; симетон — грибы рода *Aspergillus* и т. д. [117].

К дипиридиновым гербицидам относятся препараты паракват и дикват. Разложение параквата в почве отмечено под влиянием некоторых изолированных, но не идентифицированных почвенных бактерий [111].

Период адаптации почвенных микроорганизмов к отдельным гербицидам различен. Например, к производным карбамида бактерии приспосабливаются примерно в течение 2 мес, к 2,4-Д — в течение 6–21 дней, к диалату — 6–7 и триалату — 28–45 дней. После адаптации микроорганизмы начинают быстро размножаться и используют внесенный препарат в качестве источника питательных веществ или энергии.

По мнению Аудус, Хирш, Александер (1960), почва "обогащается" микроорганизмами, которые адаптировались к соответствующим гербицидам, и разложение повторно внесенного этого же гербицида протекает намного быстрее. Ускорение разложения в этом случае объясняется сокращением фазы "торможения".

Бактерии, изолированные из почвы, в которую вносили в первый раз

препарат, обладают меньшей способностью разлагать далапон и ТХА по сравнению с бактериями, изолированными из почвы, которые были активированы гербицидом [112]. Аналогичные сведения получены также и с гербицидом 2,3,5,6-ТБ.

Установлена прямая зависимость скорости инактивации гербицида от влажности, температуры, аэрации почвы и других факторов, влияющих на развитие и жизнедеятельность микроорганизмов. В условиях, благоприятных для развития микроорганизмов, разложение гербицидов протекает быстро. Физико-химическое связывание некоторых препаратов с органическим веществом почвы тормозит их инактивацию. В почвах с высоким содержанием органического вещества микробиологические процессы протекают интенсивно, в связи с чем инактивация большинства гербицидов происходит быстрее, чем в сухих и легких по механическому составу, бедных органическим веществом почвах. Баршел (1961) приводит данные о том, что при 18°C в почве, содержащей 1% гумуса, за 150 дней разлагается 50% симазина, а при содержании 10% гумуса в течение 170 дней инактивируется 85% внесенного препарата. Имеются также другие данные, свидетельствующие о том, что в почвах с высоким содержанием органического вещества инактивация гербицидов (2,3,5,6-ТБ, 2,4-Д, монурона, диурона, атразина, димиди и т. д.) протекает быстро.

Как показали Парвер и Хедсон (1966) (по Фетфаджиевой, 1973), препарат дикамба инактивируется микроорганизмами с различной скоростью в зависимости от реакции почвы: при pH 4 — быстро, а при pH 7,5 — медленно.

При низких температурах гербициды разлагаются медленно. При переходе от отрицательных к положительным температурам скорость разложения пропазина, пирамина, алипура и мурбетолы возрастает (Попов, Ладонин, 1968). При температуре 20–30°C активируется деятельность почвенной микрофлоры и ускоряется инактивация гербицидов в почве. Данные по изучению скорости микробиологического разложения атразина и диурона в почве при температуре 10, 20 и 30°C свидетельствуют, что при температуре выше 10°C скорость разложения атразина возрастает вдвое, а диурона — даже втрое. Количество препарата амибен в дозе 50 мг/кг почвы при температуре 15°C не менялось в течение 11 месяцев, при 25°C разлагалось 42%, а при 35°C — 46% (Шейб, 1965, по Фетфаджиевой, 1968). Микробиологическое разложение в почве препарата 2,3,5,6-ТБК (в дозе 2 мг/кг) завершается при 15°C за 9 месяцев, а при 25 и 35°C — за 4–5 месяцев [113]. Атразин в этих условиях разлагается соответственно за 9 и 1–2 месяца. Рандокс и вегадекс во влажной почве при температуре 27–28°C инактивируются за 6 недель, а в сухой почве при такой же температуре — за 18 [113].

В сухих почвах гербициды атразин, симазин, хлоразин, фенурон долгое время сохраняют свою токсичность, а в хорошо увлажненных почвах они инактивируются в 5 раз быстрее [43].

Не только физико-химические и биологические свойства почв, но и применяемые агротехнические приемы, активирующие микробиологические процессы, влияют на скорость детоксикации гербицидов.

Органическое (40 т/га навоза) или органоминеральное удобрение

($N_{240}P_{240}K_{240} + 40$ т/га навоза) ускоряет детоксикацию метрибуцина, тогда как минеральные удобрения существенно не влияют на этот процесс. Слабо происходит детоксикация гербицидов при внесении в почву фосфорно-калийных удобрений и особенно при применении высоких доз фосфора.

ВЛИЯНИЕ ИНСЕКТИЦИДОВ НА МИКРОФЛОРУ И МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ПОЧВЕ

Препараты хлордан и гексахлоран, вносимые в оптимальных дозах, оказывают определенное влияние на развитие почвенных микроорганизмов. Аналогичные результаты получены в опытах с препаратами вофатокс, токсафен и линдан [103], с 5,5%-ным ДДТ, 30%-ным метилмеркаптофосом и паропилсевином и инсектицидами гептахлор, хлордан и др. [97]. Препараты И-46, ХЕХ, Е-605 и др. в дозах в 5–20 раз выше, чем применяемые на практике, не подавляют активность почвенных микроорганизмов. Вофатокс в низких дозах стимулирует, а в высоких — ингибирует развитие почвенных микроорганизмов. Паратион, вносимый в почву в оптимальных и повышенных дозах, либо не влиял на развитие почвенной микрофлоры, либо стимулировал развитие некоторых видов бактерий, актиномицетов, грибов и водорослей [115].

Гексахлоран, внесенный в низких дозах, стимулирует, а в высоких — подавляет развитие почвенных микроорганизмов [134].

Применение инсектицидов дильдрина, линдана и гептахлора в дозах, используемых в практике (40, 50 и 60 кг/га), на аллювиально-луговой почве легкого механического состава с содержанием гумуса 1,8–1,9% и pH 7–7,2 вызывает незначительное и кратковременное ингибирование развития актиномицетов и бактерий непосредственно после внесения инсектицида. При использовании дильдрина на аллювиально-луговой почве в повышенных дозах (80–160 мг/кг почвы) численность бактерий и актиномицетов снижается в 2,5 раза.

Разные виды микроорганизмов обладают различной чувствительностью к инсектицидам. По данным Е. Соловьева (1953), при внесении гексахлорана происходит перегруппировка микрофлоры и меняется видовой состав микроорганизмов, при этом ингибируется жизнедеятельность одних почвенных микроорганизмов, а активируется других.

Хлордан в дозах свыше 1 мг/кг почвы подавляет развитие *B. subtilis*, *B. mycoides* и т. д. Дильдрин в повышенных дозах (свыше 20 мг/кг почвы) вызывает снижение численности бактерий родов *Pseudomonas* и *B. mesentericus* и повышение *B. megaterium*. При увеличении доз этого препарата от 80 до 160 мг/кг почвы высокую чувствительность к нему проявляют бактерии, минерализующие азотсодержащие соединения, а низкую — использующие минеральный азот. К дильдрину чувствительны также спорообразующие бактерии рода *Bacillus*. При повышенных дозах дильдрина в почве снижается численность *B. megaterium*. Слабую чувствительность к указанному препарату проявляет *B. agglomeratus*.

Дильдрин ингибирует развитие актиномицетов, причем главным образом с белым, серым и бесцветным воздушным мицелием. Актиномицеты более чувствительны к этому препарату, чем бактерии [103]. Гептахлор и дильдрин в дозах 4–10 г/кг почвы ингибируют развитие актиномицетов.

Линдан в дозе 2 г/кг почвы оказывает слабое влияние на жизнедеятельность микрофлоры. Хлордан в завышенных дозах подавляет размножение грибов родов *Penicillium*, *Mucor*, *Aspergillus* и т. д. Гексахлоран и гептахлор в дозах 2–10 г/кг почвы более значительно подавляют размножение микроскопических грибов, чем дильдрин и линдан [103].

Препараты дильдрин, линдан и гептахлор в обычно используемых дозах не влияют или оказывают слабое и кратковременное влияние на развитие аммонифицирующих бактерий — как спорогенных, так и аспорогенных. В большинстве случаев развитие неспоровых аммонифицирующих бактерий подавляется, в связи с чем можно предположить, что процесс аммонификации легкодоступных азотсодержащих органических соединений временно будет заингибирован. С повышением дозы дильдрина от 80 до 160 мг/кг почвы развитие аммонифицирующих бактерий ингибируется сильнее и значительно снижается интенсивность аммонификации. Гексахлоран и гептахлор способны вызывать кратковременное усиление интенсивности процессов аммонификации и нитрификации в почве. Богдарина (по Берым, 1971) установила, что обработка почвы гексахлораном приводит к возрастанию численности аммонифицирующих организмов более чем в 10 раз. Паратион в оптимальных и повышенных дозах вызывает стимуляцию развития аммонифицирующих бактерий [115].

Имеется довольно много данных о том, что инсектициды, используемые в рекомендуемых дозах, не оказывают существенного влияния на интенсивность нитрификации в почве. Так, не было обнаружено изменений интенсивности этого процесса после обработки почвы гептахлором и гексахлораном [129]. После применения дильдрина в дозе 60 мг/кг почвы отмечено незначительное и кратковременное снижение интенсивности нитрификации.

Гексахлоран, дильдрин, линдан и гептахлор по-разному влияют на численность нитрифицирующих бактерий в корневой и ризосферной зонах кукурузы. Их действие зависит в первую очередь от вносимой дозы. При внесении гексахлорана, дильдрина и гептахлора в дозах 3 кг/га и более на гектар численность нитрифицирующих бактерий в ризосфере кукурузы снижается в фазе цветения растения. В фазе молочной зрелости кукурузы или в конце вегетации ингибирующее действие препаратов исчезает и намечается тенденция к стимуляции развития нитрифицирующих бактерий. В аллювиально-луговой почве было установлено кратковременное (в течение 20 дней) ингибирующее влияние линдана и дильдрина на развитие денитрифицирующих бактерий. Гексахлоран, дильдрин и гептахлор стимулируют развитие денитрифицирующих бактерий в корневой и ризосферной зонах кукурузы, а линдан их слабо подавляет. Незначительное угнетающее действие на денитрифицирующие бактерии оказывают также высокие дозы гептахлора.

Слабое и кратковременное ингибирующее действие на развитие *С. pasteurianum* было установлено после обработки почвы препаратом дильдрин (Цирков, 1970; Ранков, Христова, 1971); неоднозначное влияние оказывали гексахлоран и гептахлор. Инсектициды хлордан и гексахлоран в дозах до 1 г/кг почвы не влияют на азотфиксирующую способность азотобактера. Азотобактер к повышенным дозам гексахлорана более

устойчив, чем нитрифицирующие и некоторые виды целлюлозоразлагающих микроорганизмов [110]. Богдарина (по Берым, 1971) сообщает, что после обработки почвы гексахлораном численность азотобактера возрастает в 6 раз. Гексахлоран, гептахлоран, линдан и дильдрин в дозах 2–10 г/кг почвы не подавляют развитие азотобактера, что позволяет отнести эти бактерии к микроорганизмам, устойчивым к инсектицидам [103].

Препараты гексахлоран и гептахлор в течение 6 недель после внесения их в аллювиально-луговые почвы стимулируют развитие микроорганизмов, минерализующих органические соединения фосфора. Более продолжительное действие наблюдают при внесении этих инсектицидов на лугово-болотные почвы [103]. Стимулируется развитие этой группы микроорганизмов в корневой и ризосферной зонах кукурузы после обработки почвы гексахлораном, гептахлором и линданом. Можно предположить, что эта группа микроорганизмов участвует в разложении указанных инсектицидов, и они стимулируют их развитие.

Во многих случаях чувствительность почвенных микроорганизмов к различным инсектицидам зависит не только от дозы, но также от химического состава препарата [9]. Отмечается, например, различное отношение микроорганизмов к органохлорным и органофосфорным инсектицидам. От количества и расположения атомов хлора в молекуле органохлорных инсектицидов зависит в большой степени их токсичность для микроорганизмов. Действие различных инсектицидов на микрофлору обусловлено также особенностями морфологии микроорганизмов и их обмена веществ.

Изменения, наблюдаемые в составе и численности микроорганизмов после применения инсектицидов, можно использовать в качестве показателя, служащего для определения и прогнозирования детоксикации этих препаратов. Однако эти изменения не могут отражать токсичность препаратов в почве и загрязнение окружающей среды, поскольку часто продукты метаболизма бывают более токсичными, чем сами препараты. Изменения численности, состава и активности микроорганизмов, которые необходимо учитывать, позволяют судить об активности препаратов, используемых на практике, и сроках их инактивации.

Участие микрофлоры в детоксикации инсектицидов

При внесении в почву инсектициды, как и гербициды, подвергаются химическому, фотохимическому и биологическому разложению. Все больше накапливается данных о том, что почвенные микроорганизмы играют решающую роль в детоксикации различных инсектицидов в почве.

В почвах, бедных микроорганизмами, паратон разлагается медленнее, чем в почвах, густо населенных микроорганизмами [128].

Период адаптации микрофлоры, участвующей в разложении инсектицидов, бывает различным и зависит от химического состава препарата, влажности, температуры и т. д. При изучении разложения метилпаратона в почве было установлено, что в основном увеличивается численность бактерий. Наиболее сильно стимулируется их развитие через несколько

недель после разрушения основной части метилпаратиона, по-видимому, вследствие адаптации микроорганизмов к препарату.

На взаимодействие инсектицидов и микроорганизмов оказывают влияние также условия среды: физико-химические свойства почвы, влажность, температура, агротехнические приемы, растительный покров и т. д. В легких и песчаных почвах, бедных органическими веществами, инсектициды более токсичны для почвенной микрофлоры, чем на почвах с тяжелым механическим составом и с высоким содержанием в них гумуса. По данным Богдариной (по Берым, 1971), влияние гексахлорана на развитие различных почвенных микроорганизмов бывает более существенным на аллювиально-луговой почве, чем на луговой болотной. При обработке плодородной темно-серой лесной почвы 0,02%-ным раствором октаметила развитие микроорганизмов ингибируется слабее, чем на бедной светлосерой лесной почве.

Разложение инсектицидов происходит быстрее в почвах с высоким содержанием органического вещества, повышенной влажностью и температурой, т. е. в условиях, благоприятно влияющих на микробиологические процессы. Метилпаратион разлагается быстрее в черноземах, богатых микрофлорой, чем в бедных песчаных почвах [104].

Влажность почвы оказывает влияние на взаимодействие между инсектицидами и микроорганизмами. В сухих почвах паратион сохраняется дольше, чем во влажных [51]. Разложение этого препарата в тяжелой глинистой почве при высокой влажности и температуре 30°C протекает интенсивно.

Во влажной почве линдан разлагается в три раза быстрее, чем в сухой [138].

Данные по изучению скорости разложения диазина в зависимости от его дозы (1 и 10 кг действующего вещества на гектар), влажности (25 и 75% ППВ), механического состава почвы (глинистая и песчаная) и стерилизации (нагревание почвы в течение 1 часа до 100°C) свидетельствуют о том, что наибольшая скорость разложения наблюдается в нестерильной, влажной глинистой почве.

Выяснение значения физико-химических свойств почвы и различных агротехнических приемов при изучении влияния инсектицидов на почвенную микрофлору позволит дать объективную и правильную оценку их токсичности. В заключение следует отметить, что взаимодействие между пестицидами и почвенными микроорганизмами зависит от конкретных условий и свойств почвы. Почвенные микроорганизмы принимают большое участие в детоксикации пестицидов.

Влияние фунгицидов на микрофлору

Большинство эффективных почвенных фунгицидов — летучие или легкорастворимые в воде соединения. Летучесть и растворимость — факторы, способствующие распределению активного вещества в почве, в результате чего препарат вступает в контакт даже с наиболее слабодоступными фитопатогенами.

Внесенные в почву фунгициды подвергаются инаktivации вследствие

адсорбции их почвенными коллоидами или в результате взаимодействия с микроорганизмами почвы. Большинство фунгицидов, за исключением труднорастворимых или высокотоксичных веществ, подвергается именно активной биологической детоксикации почвенными микроорганизмами. Фунгициды, в свою очередь, оказывают существенное влияние на численность и активность почвенной микрофлоры. Классические почвенные фумиганты (формальдегид, хлорпикрин и сероуглерод) в определенной концентрации уничтожают большую часть почвенных микроорганизмов.

Сильными фунгицидными свойствами характеризуются дитиокарбаматные препараты. Вапам в дозах 25, 50 и 100 г/м² (Ампова, 1974) в течение трех дней после обработки почвы вызывал сильное снижение общей численности микроорганизмов. Продолжительность периода торможения жизнедеятельности микрофлоры зависит в большей степени от количества почвенной влаги. При поддержании влажности почвы в пределах 70–80% ППВ через 10 дней после внесения препарата увеличивается численность микроорганизмов, особенно аспорогенных флуоресцентных бактерий. При низкой влажности почвы продолжительность депрессии в развитии микроорганизмов возрастает до 20 дней, после чего биогенность почвы нормализуется.

При использовании препарата вапам, независимо от степени влажности почвы, наблюдается подавление жизнедеятельности актиномицетов. Вапам проявляет высокое фунгицидное действие. При дозе 100 г/м² в течение 20 дней он сильно ингибирует развитие почвенных микроскопических грибов.

Вапам в дозах, обычно применяемых на практике, предварительно внесенный в почву под культуру табака, сначала подавлял размножение аммонифицирующих микроорганизмов, а затем вызывал стимуляцию развития главным образом аспорогенных форм аммонифицирующих бактерий. Наиболее интенсивное размножение этих бактерий отмечено при дозе вапама 100 г/м² через 30 дней после обработки [4]. По-видимому, эти бактерии участвуют в разложении препарата, и изменения в их жизнедеятельности зависят от течения процессов его разложения в почве. При внесении вапама в питательную среду, оптимальную для развития указанных бактерий, в основном развиваются флуоресцентные аспорогенные формы аммонифицирующих бактерий, которым, по-видимому, этот препарат служит в качестве источника азота.

Сроки детоксикации вапама зависят от степени влажности почв, их температуры и вносимых доз. Стимулирующее действие на развитие микроорганизмов, участвующих в разложении фунгицида, усиливается в ризосфере растений, что, по-видимому, обусловлено наличием ауксино- и гиббереллиноподобных веществ, выделяемых в большом количестве ризосферной микрофлорой. Это является одной из причин быстрого развития табака после обработки почвы вапамом.

Высокие дозы вапама отрицательно сказываются на развитии азотобактера. Прямой контакт препарата с азотобактером приводит к изменению цвета и плотности колоний и ингибированию их развития. Депрессия развития азотобактера, происходящая под влиянием вапама, зависит, с одной стороны, от содержания активного вещества в фунгициде, с другой —

9. Влияние обработки вапамом на численность споровых аммонифицирующих бактерий — антагонистов азотобактера

Антагонисты	Вапам		Контроль	
	число штаммов	% антагонистов азотобактера	число штаммов	% антагонистов азотобактера
<i>B. mesentericus</i>	85	86	70	67
<i>B. megatericum</i>	76	66	58	43
<i>B. idosus</i>	37	72	22	54
<i>B. mycoides</i>	28	46	15	43
<i>B. virgillus</i>	17	53	14	36
<i>Ps. fluorescens</i>	21	5	17	6
Всего	264	67,5	196	48,8

от изменений во взаимоотношениях микроорганизмов, поскольку в обработанной почве стимулируется развитие антагонистов азотобактера (табл. 9). После внесения вапама подавляется также нитрифицирующая активность почвы, по-видимому, обусловленная нарушением активности аммонифицирующих бактерий в начальные фазы нитрификации и снижением вследствие этого поступления аммонийного азота в почву, недостаток которого приводит к торможению деятельности нитрифицирующих бактерий в течение примерно 10–15 дней после внесения препарата.

Целлюлозоразлагающая активность почвы после обработки фунгицидом вапам практически не меняется или незначительно повышается, т. е. целлюлозоразлагающие микроорганизмы не чувствительны к этому препарату.

Вапам существенно не влияет на ферментативную активность почвы. В дозах 25, 50 и 100 г/м² не меняется активность ферментов инвертазы, уреазы и каталазы [6].

Определенный интерес представляет препарат бунем, испытанный под культуру табака (Ампова, Стефанов, 1980). Изменения в биологических свойствах почвы при его применении наступают при дозах 1000 и 2000 л/га (табл. 10). При этом до обработки и в первые дни после внесения бунема биогенность почвы бывает высокой. Развитие аммонифицирующих бактерий не ингибируется даже при высоких дозах вносимого

10. Влияние бунема на численность почвенных микроорганизмов, млн/г почвы

Доза препарата, л/га	Бактерии, усваивающие органический азот			Бактерии, усваивающие минеральный азот	Актиномицеты	Грибы
	всего	аспорогенные	спорогенные			
Бунем 1000	6,0	3,9	0,36	14,0	3,7	0
" 2000	16,9	14,3	0,47	3,5	1,7	0
Контроль	5,2	2,7	0,52	7,8	3,7	0,02

препарата, а жизнедеятельность аспорогенных форм этих бактерий стимулируется, особенно в ризосфере табака. По-видимому, аммонифицирующие бактерии принимают участие в биологической детоксикации препарата, разлагают его и используют в качестве источника питания и энергии. При внесении бунема в дозе 2000 л/га увеличение численности аммонифицирующих бактерий сопровождается развитием микрофлоры, использующей минеральный азот, что приводит к более эффективному использованию почвенного азота растениями. По-видимому, этим можно объяснить благоприятное влияние препарата бунем на развитие табака.

Влияние препарата бунем, оказываемое на численность и активность спорообразующих бактерий, актиномицетов и почвенных микроскопических грибов, аналогично действию остальных дитиокарбаматных препаратов — вапама, трапекса, базамида и других, но с тем различием, что он подавляет развитие азотобактера (табл. 11).

Препарат мапозол, также как и вапам, бунем, вызывает увеличение численности бактерий, использующих органический азот.

Для борьбы с патогенными грибными заболеваниями табака используют препарат беномил, содержащий в качестве активного вещества бенонил [6]. Указанный препарат обладает превентивным и длительным действием и успешно применяется путем внесения в почву на корни растений. Результаты вегетационных и полевых опытов показали, что беномил, внесенный в дозе 20 кг/га, не вызывает существенных изменений в численности почвенных микроорганизмов. При дозе 40 кг/га наблюдается слабое увеличение численности аммонифицирующих бактерий и актиномицетов, тогда как внесение 60 кг/га этого препарата вызывает значительное изменение общей численности микроорганизмов, которая возрастает как на гумусно-карбонатной, так и аллювиально-луговой почве. Повышение биогенности обработанных почв вызвано ростом численности бактерий, усваивающих органические и минеральные формы азота. С разложением и постепенным исчезновением препарата из почвы численность этих бактерий становится примерно такой же, как и на необработанных препаратом площадках.

Проведены лабораторные опыты по изучению действия препарата беномил на 100 штаммов аспорогенных флуоресцентных бактерий, изолированных из ризосферы и прикорневой зоны табака, результаты которых показали, что штаммы рода *Pseudomonas* с зеленым флуоресцирующим пигментом развиваются нормально при концентрации препарата в питательной среде 5%, а иногда и до 10%. Данные этих исследований дают основание предположить, что отдельные штаммы аспорогенных ам-

11. Влияние бунема на численность азотобактера, %

Доза препарата, л/га	Фаза вегетации		
	начало вегетации	цветение	конец вегетации
1000	100	94	68
2000	100	93	100
Контроль	100	97	76

монифицирующих бактерий принимают активное участие в детоксикации препарата беномил.

При обработке почвы бенлейтом численность азотобактера меняется в зависимости от дозы препарата. Через два дня после внесения препарата в дозе 20–40 кг/га численность бактерий увеличивалась, а в дозе 60–80 кг/га — снижалась, тогда как через 65 дней после обработки численность азотобактера возрастала независимо от дозы.

В начальный период после внесения беномила проявляется тенденция к снижению численности актиномицетов. Изменения численности почвенных микроскопических грибов под влиянием препарата зависят от свойств почвы. В аллювиально-луговой почве численность грибов после внесения препарата снижается, а в гумусно-карбонатной — увеличивается, что, по-видимому, обусловлено разнородностью видового состава грибов в этих двух почвах и специфичностью действия препарата беномил на отдельные виды. На численность нитрифицирующих бактерий препарат оказывает слабое влияние.

Таким образом, под влиянием препарата беномил в ризосфере табака создается благоприятный биоценоз, способствующий, по-видимому, жизнедеятельности растений табака.

Влияние нематоцидов на микрофлору

Борьба с нематодами в посевах культурных растений связана с большими трудностями, обусловленными распространением вредителя в корнях растения-хозяина, в связи с чем сложно подобрать средства для полного уничтожения нематод в полевых условиях. Положительные результаты в этом направлении дает фумигация почвы. Препараты для борьбы с нематодами одновременно с воздействием на вредителей растений оказывают влияние и на численность микрофлоры, связанные с ней биологические процессы в почве и даже на почвенное плодородие.

За последние 15 лет в Болгарии было изучено много препаратов, обладающих нематоцидным действием. Результаты этих исследований показали неудовлетворительную эффективность препаратов вапам, трапекс, базамид, пульвер, эдабром, немабром и т. д. [4] при уничтожении нематод. Эти препараты оказывают специфическое действие на численность и состав полезной почвенной микрофлоры. Изменения численности отдельных групп микроорганизмов зависят от количества активного вещества в препарате. Препараты, выделяющие изотиоцианат (вапам, трапекс и т. д.), подавляют жизнедеятельность микроорганизмов сразу же после внесения, а затем отмечается значительный рост определенных видов бактерий. Бромсодержащие препараты (эдабром и немабром) вызывают незначительные изменения биологических свойств почвы.

К высокоэффективным препаратам в борьбе с нематодами относятся дауфум W-85, созданный на основе этилендибромиды, и терракур II с активным веществом фенилсульфотионом. Несмотря на различные активные начала, эти препараты оказывают примерно одинаковое воздействие на микроорганизмы. Внесение в почву дауфума (в дозе 180 л/га) и терракура — II (весной) вызывает снижение численности бактерий, исполь-

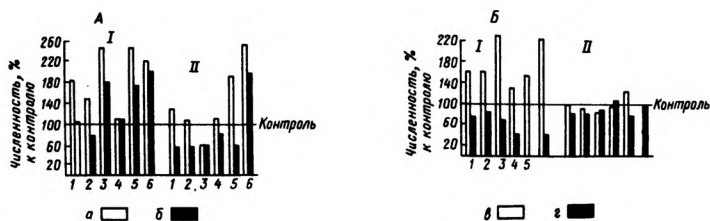


Рис. 23. Влияние препаратов дауфум и терракур на численность почвенных микроорганизмов:

I – начало вегетации; II – конец вегетации; А – после обработки дауфумом; Б – после обработки терракуром; дауфум – 60 л/га (а) и 130 л/га (б); в – осеннее внесение терракура; г – весеннее внесение терракура; 1 – общая численность бактерий; 2 – бактерии, усваивающие органический азот; 3 – спорообразующие бактерии; 4 – бактерии, усваивающие минеральный азот; 5 – актиномицеты; 6 – грибы.

зующих органический азот, – аммонификаторов (рис. 23). Подавление численности актиномицетов отмечается лишь при применении терракура II. По отношению к почвенным грибам оба препарата проявляют избирательное действие: содействуют накоплению в почве грибов родов *Penicillium* и *Aspergillus*.

Отмечено влияние препаратов дауфум (в дозе 60 л/га) и терракура – II (внесенного осенью) на микроорганизмы – снижается численность аммонифицирующих бактерий. При внесении высоких доз препарата дауфума и весеннем применении терракура II снижается интенсивность процессов аммонификации, причем сразу же после обработки почвы препаратами в ней обнаружены низкие количества аммиачного азота. В дальнейшем аммонифицирующая активность почвы начинает возрастать.

При применении указанных препаратов на легкой аллювиально-луговой почве отмечается тенденция к снижению интенсивности нитрификации, поскольку внесенные препараты этой почвой не адсорбируются. При внесении минеральных удобрений интенсивность процесса восстанавливается. Применение дауфума и терракура II на гумусно-карбонатной почве, напротив, приводит к усилению интенсивности процесса нитрификации. Приведенные изменения в нитрифицирующей активности двух почв, как и в случае применения гербицидов, обусловлены различиями в их поглощательной способности.

Фумигация почвы препаратами дауфум и терракур II приводит к слабому усилению целлюлозоразлагающей активности и стимуляции развития азотобактера. Дауфум, добавленный в питательную среду до концентрации 1%, благоприятно влияет на развитие и окрашивание колоний испытуемых штаммов азотобактера. Высокие концентрации препарата являются токсичными [4].

Изменения ферментативной активности почвы под влиянием указанных двух нематодов зависят в основном от физико-химических свойств почвы. Активность инвертазы, уреазы и каталазы более высокая в гу-

мусно-карбонатной почве. Терракур П несколько тормозит активность почвенной каталазы.

К перспективным нематоцидам относится и фурадан с активным веществом карбофураном, обработка которым оказывает благоприятное влияние на развитие почвенных микроорганизмов (Ампова, Стефанов, 1979). Динамика развития аспорогенных бактерий аналогична наблюдаемой после внесения других нематоцидов: сразу же после внесения жизнедеятельность бактерий ингибируется, затем стимулируется и далее — после разложения препарата — сокращается их численность. Почти сразу же после обработки фураданом, поскольку период торможения жизнедеятельности бактерий короткий, резко возрастает численность аспорогенных аммонифицирующих бактерий. Фурадан также влияет на жизнедеятельность азотобактера, но не на численность, которая после обработки существенно не меняется, а на его морфологические признаки — в питательной среде развиваются крупные, типично окрашенные колонии. После внесения фурадана возрастает нитрифицирующая активность, вследствие чего потенциальные возможности образования нитратов увеличиваются; быстрее и интенсивнее происходит разложение целлюлозы.

Аналогичным фурадану действием обладает препарат видейт, с активным веществом диметилкарбомочевинной. Под влиянием этого препарата уменьшается численность почвенных грибов, незначительно снижается интенсивность некоторых биологических и ферментативных процессов (табл. 12). Происходят изменения биологических свойств почвы в ризосфере табака, которые отражаются на росте и развитии растений. Поэтому при изучении эффективности нематоцидных препаратов следует учитывать не только способность препарата подавлять вредителей растений, но и его действие на рост и развитие растений, на численность и активность ризосферной микрофлоры.

Таким образом, результаты исследований, проведенных во многих странах, в том числе и в Болгарии, показывают, что внесение в почву пестицидов оказывает значительное влияние на почвенную микрофлору, изменения численности и активности которой, могут быть позитивными или негативными в зависимости от активного вещества препарата, особенностей почвы и от агротехнических приемов, применяемых при возделывании культур. В связи с этим без проведения конкретных исследований нельзя

12. Ферментативная активность почвы в начале вегетации табака после обработки нематоцидами (данные 1968 г.)

Препарат	Инвертаза, мг глюкозы на 1 г почвы за 24 часа		Уреаза, мг аминного азота на 10 г почвы	
	аллювиально-делювиальная почва	гумусно-карбонатная почва	аллювиально-делювиальная почва	гумусно-карбонатная почва
Дауфум	3,20	5,37	0,56	3,48
Терракур П	1,58	5,68	0,42	3,63
Контроль	3,20	5,37	0,56	3,48

дать однозначный ответ на вопрос о действии пестицидов на почвенную микрофлору. Поэтому для оценки пригодности различных препаратов в сельскохозяйственной практике требуются тщательные микробиологические исследования.

ПРИЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ПОЧВЫ

Не вызывает сомнения, что микрофлора влияет на плодородие почвы. В почвах с неблагоприятными свойствами (кислая реакция, тяжелый механический состав, низкое содержание гумуса, переувлажнение и т. д.) активность микрофлоры и интенсивность микробиологических процессов подавлены, что, конечно, отражается на ее плодородии. Агротехнические приемы, применяемые при возделывании культур, оказывают сильное влияние на микробиологические процессы, протекающие в почве. В связи с этим необходимо выяснить, какие процессы и при каких условиях способны улучшить питание растений и почвенное плодородие. Для ответа на эти вопросы необходимо проводить изучение почвенной микрофлоры. Установление причин, от которых зависит активность, численность и развитие полезных микроорганизмов, позволит на практике применять приемы, усиливающие позитивное воздействие микрофлоры на почвенное плодородие. Результаты классических исследований, проведенных в этом направлении Виноградским, Омелянским, Федоровым, Ваксманом и др., доказали возможность повышения эффективности воздействия на жизнедеятельность микрофлоры, связанной с плодородием почвы. Однако для этого необходимо знать все факторы, способствующие развитию таких микроорганизмов в почве, и, кроме того, иметь возможность изолировать и использовать микроорганизмы с высокой активностью. В этом случае появится возможность регулирования этих микробиологических процессов в почве. Решение этого вопроса связано с большими трудностями, поскольку условия в почве сильно различаются, одновременно действует много факторов, микроорганизмы бывают различны по составу и взаимоотношениям.

Для изменения состава микрофлоры и повышения численности полезных микроорганизмов используются бактериальные, органические и минеральные удобрения, ингибиторы, чередование культур, биологически активные вещества и т. д.

Изменение состава и численности микроорганизмов на низкопродуктивных почвах

На почвах с кислой реакцией микрофлора немногочисленна. Подавлено развитие в основном азотфиксирующих бактерий; низка интенсивность процессов нитрификации. Известкование этих почв вызывает повышение численности азотобактера, в результате чего кислые почвы становятся густонаселенными активными штаммами *Az. chroococcum*. Этот прием наиболее эффективен при внесении фосфорных удобрений. В кислых почвах развитию азотобактера и повышению азотфиксирующей активности способствует внесение органических удобрений. В этих почвах

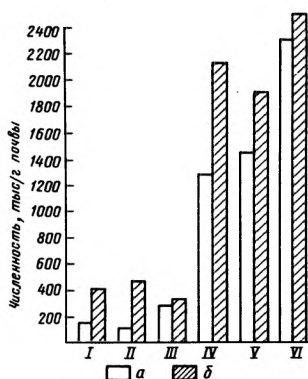


Рис. 24. Изменение численности и состава целлюлозоразлагающих микроорганизмов при промывании и удобрении засоленных почв:

I — непромытая засоленная почва + фосфогипс; II — непромытая засоленная почва + фосфогипс + навоз; III — то же + NPK; IV — промытая водой засоленная почва + фосфогипс; V — то же + навоз; VI — то же + NPK; а — через 15 дней; б — через 30 дней.

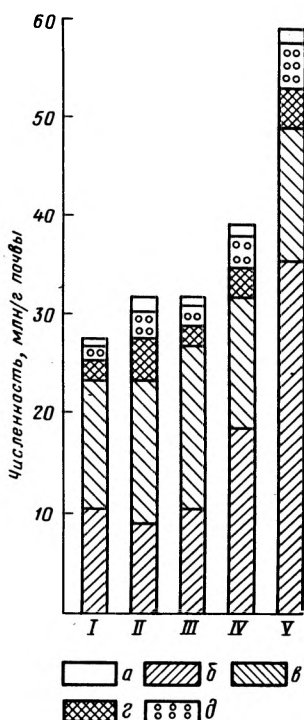


Рис. 25. Влияние гипсования на численность микрофлоры солончаков-солонцов:

I — контроль (непромытая почва); II — 20 т/га CaSO_4 ; III — 30 т/га CaSO_4 ; IV — 50 т/га CaSO_4 ; V — 100 т/га CaSO_4 ; а — аммонифицирующие бактерии; б — бактерии, усваивающие минеральный азот; в — актиномицеты; г — грибы; д — спорообразующие бактерии.

почти не развиваются клубеньковые бактерии, поэтому бобовые культуры почти не образуют клубеньков. Внесение извести под бобовые культуры (люцерна) существенно повышает урожайность благодаря усиленному образованию клубеньков [40]. Следовательно, приемы способствующие уменьшению кислотности, приводят к улучшению биологических свойств почвы, а также увеличению численности и активности азотфиксирующих бактерий. В кислых почвах процесс нитрификации протекает медленно и замедляется после внесения карбамида и других аммонийных удобрений. При известковании кислых почв нитрифицирующая активность резко возрастает.

На численность и активность микрофлоры сильное влияние оказывает засоленность почв [30]. После мелиорации таких почв (внесение гипса, фосфогипса и т. д.) резко повышается численность микрофлоры и меняется ее состав (рис. 24). Гипсование оказывает особенно сильное

положительное воздействие на состав и активность аммонифицирующих и целлюлозоразлагающих бактерий. Засоленные почвы после гипсования по численности, составу микрофлоры и плодородию не отличаются от незасоленных почв соответствующей местности (рис. 25).

Тяжелые поверхностно переувлажненные почвы не создают условий для нормального течения многих биологических процессов, поэтому численность микрофлоры в пахотном слое резко снижается. Осушение этих почв и создание оптимального водно-воздушного режима способствуют заселению их микроорганизмами по глубине пахотного слоя, как и в других плодородных почвах.

Влияние органических удобрений и органических остатков на микрофлору почвы

Результаты исследования, проведенные авторами, показывают, что в 1 г полуразложившегося навоза содержится 2,1 млрд. аммонифицирующих бактерий, численность которых в перепревшем навозе снижается на 1,8–0,3 млрд. Численность бактерий, усваивающих органические фосфорные соединения и переводящих их в минеральную форму, составляет: в 1 г свежего навоза – 2,2 млн., полуперепревшего – 57,6 млн. и перепревшего – 156 млн. [30]. Следовательно, при разложении навоза резко снижается численность аммонифицирующих бактерий, а увеличивается численность фосфобактерий, использующих органические соединения фосфора и минерализующих их до усвояемых фосфатов. После внесения навоза в почву меняется также численность микроорганизмов, участвующих в минерализации органических соединений азота и фосфора в почве. Численность микроорганизмов, использующих минеральный азот, увеличивается с 6,6 до 20 млн. на 1 г перепревшего навоза, а использующих минеральный фосфор возрастает с 0,2 млн. в 1 г свежего навоза до 13 млн. в 1 г перепревшего навоза. Таким образом, при разложении навоза, кроме минерализации, протекают также процессы иммобилизации, которые предохраняют потери усваиваемых питательных веществ.

Степень воздействия навоза на почвенную микрофлору зависит от возделываемой культуры. При удобрении густовысеваемых культур (например, пшеницы) к концу вегетации возрастает численность бактерий, участвующих в иммобилизации азота. По-видимому, это связано с наличием в почве большого количества корневых остатков, бедных азотом. При внесении навоза под пропашные культуры возрастает численность бактерий, связанных с процессами минерализации, и, наоборот, снижаются бактерии, вызывающие иммобилизацию. Внесение навоза под бобовые культуры вызывает значительное повышение интенсивности минерализации и почти не влияет или снижает иммобилизацию усвояемого азота [27, 30]. Если в почву одновременно с навозом вносят суперфосфат, то существенных изменений в течении процессов мобилизации и иммобилизации не наблюдается.

Внесение навоза совместно с азотными и фосфорными удобрениями в почвы с неблагоприятными биологическими свойствами ускоряет процессы минерализации и улучшает поступление усвояемых питательных

веществ в почву. Применение перепревшего навоза на почвах с высокой биогенностью, которой обладают все почвы под культурами с сильно развитой корневой системой, но бедной азотом (небобовые), усиливает иммобилизацию азота и фосфора и увеличивает количество микрофлоры, что является причиной ухудшения питания растений.

Внесение навоза — один из лучших способов улучшения биологических свойств почвы, значение которого особенно возрастает после длительного применения минеральных удобрений, вызывающего усиленную минерализацию органического вещества. Поскольку количество навоза ограничено, и повышение доз под полевые культуры не предвидится, необходимо использовать другие источники, способные обогащать почву органическим веществом, — органические отходы промышленности и сельского хозяйства и т. д.

Регулирование процессов нитрификации, денитрификации и иммобилизации

В связи с тем что азот в почве в наибольшей степени подвержен микробиологической трансформации и потери его достигают существенных величин, были проведены многочисленные исследования для выявления возможности регулирования микробиологических процессов, связанных именно с этим элементом. Количество азота в почве в большой степени зависит от интенсивности биологических процессов. Во многих странах проводится научно-исследовательская работа, направленная на повышение эффективности минеральных удобрений. В сельскохозяйственной практике применяют различные ингибиторы нитрификации, подавляющие активность нитрифицирующих бактерий. В результате этого в почве не происходит накопления нитратов и не протекает процесс денитрификации. В некоторых странах налажено производство ингибиторов, которые при внесении совместно с минеральными удобрениями снижают газообразные потери азота из почвы и повышают эффективность внесенных азотных удобрений [27, 30]. Применение ингибиторов нитрификации и денитрификации — прием, позволяющий сохранить азот в почвах с сильно выраженной нитрифицирующей активностью и искусственно регулировать биологическую иммобилизацию его путем внесения органических веществ. В качестве ингибиторов или стимуляторов нитрификации используют также гербициды.

Особое внимание уделяется вопросам, связанным с продолжительностью и интенсивностью иммобилизации питательных веществ, особенно азота, в почве, поскольку этот процесс желателен при борьбе с потерями усвояемого азота и вреден, когда он вызывает снижение содержания доступных питательных веществ в течение вегетации растений, предъявляющих высокие требования к питательному режиму. Данные по изучению интенсивности и продолжительности иммобилизации азота после внесения азотных удобрений (аммиачной селитры и карбамида) отдельно или на фоне фосфора показывают, что этот процесс в почвах Болгарии протекает довольно интенсивно. Поэтому необходимо принимать меры для сокращения срока иммобилизации. Для этого нужно ускорять процессы

минерализации путем увеличения численности аммонифицирующих бактерий. В этом случае происходит минерализация иммобилизованного азота, который в усвояемом виде находится в почве и улучшает азотное питание растений.

Для изучения способов регулирования процесса иммобилизации путем снижения его продолжительности на некоторых почвах были проведены вегетационные опыты [27, 30]. В качестве образца были взяты почвы с сильно выраженной (черноземные) и слабо выраженной иммобилизацией (светло-серая лесная, оподзоленная коричневая). Цель опытов — установление значения иммобилизации в формировании урожаев и проверка некоторых приемов, регулирующих этот процесс. Опыты проводились на пшенице, кукурузе и клевере луговом. В некоторых вариантах вместе с минеральными удобрениями вносили солому для создания условий, способствующих прохождению биологической иммобилизации усвояемого азота. Полученные результаты показали, что на карбонатном черноземе, характеризующемся высокой биологической иммобилизацией азота, при одновременном внесении с минеральными удобрениями соломы урожайность фуражной кукурузы была на 45% ниже, чем в варианте без соломы. При таких же условиях на серой лесной почве урожай снизился на 22% и на псевдоподзолистой коричневой — на 15% [27]. Следовательно, биологическая иммобилизация азота резко снижала урожай, особенно на почвах, где этот процесс ярко выражен.

На карбонатном черноземе, на котором путем внесения соломы вызвали иммобилизацию азота, урожайность клевера лугового (первый укос) снизилась при внесении аммиачной селитры на 21%, а карбамида — на 43%. На псевдоподзолистой коричневой и серой лесной почвах, на которых иммобилизация азота протекает слабо и в короткий срок, урожайность не снижалась. На карбонатном черноземе в вариантах с добавлением соломы урожайность была низкой в первом и втором укосах. При третьем и четвертом укосах не было различий между урожаем в вариантах с минеральными удобрениями, внесенными отдельно и в сочетании с соломой. Этот факт свидетельствует о продолжительности данного процесса на карбонатных черноземах.

Фуражная кукуруза — культура со сравнительно коротким вегетационным периодом, по-видимому, за период вегетации не усваивает весь иммобилизованный азот [30]. При внесении минеральных удобрений вместе с соломой урожайность ее крайне низкая. Разница в количестве полученного урожая фуражной кукурузы и клевера лугового вызвана не только различной длиной вегетационного периода этих двух культур, но также и тем, что корневые остатки бобовой культуры, содержащей много азота, активируют процессы минерализации, при этом сильно возрастает численность аммонифицирующей микрофлоры и освобождаются иммобилизованные питательные вещества. Это положение подтверждается данными, полученными в вариантах с добавлением к минеральным удобрениям пожнивных остатков люцерны. В этом случае не происходило снижения урожайности ни кукурузы, ни клевера лугового. Следовательно, **имеется** возможность регулировать иммобилизацию усвояемого азота путем усиления процессов минерализации в почве.

Регулирование биологической иммобилизации — очень важный прием, связанный с повышением эффективности внесенных минеральных удобрений. Одним из путей решения этого вопроса является повышение активности микрофлоры, связанной с минерализацией иммобилизованных питательных веществ в почве.

Вегетационными опытами со стимуляторами роста, повышающими биологическую активность почвы, — гетероауксином, гиббереллином и азотобактерином — было установлено, что урожайность кукурузы возрастает при использовании гетероауксина и гиббереллина.

Для снижения продолжительности биологической иммобилизации питательных веществ путем ускорения процессов минерализации были использованы также сточные воды заводов по производству кормовых дрожжей и антибиотиков. В вегетационных опытах в варианте "сточные воды + солома", где отмечено ускорение иммобилизации, был получен специфический эффект: урожайность кукурузы возросла на 58%, пшеницы — на 17%. Под действием сточных вод увеличивалась численность микроорганизмов в почве.

Урожайность кукурузы и пшеницы также возрастала при использовании сточных вод заводов по производству антибиотиков. В вариантах опытов по добавлению соломы, в которых в результате иммобилизации азота урожай кукурузы снизился на 45%, при добавлении сточных вод он увеличился на 16%. Сильное снижение урожая получено в вариантах с внесением соломы, особенно на почвах с высокой иммобилизационной способностью.

Приведенные примеры показывают на некоторую возможность регулирования биологической иммобилизации. В настоящее время разработаны более совершенные приемы, способствующие активации жизнедеятельности микроорганизмов. В почвах с высокой и продолжительной иммобилизацией регуляция этого процесса может быть достигнута использованием навоза, растительных остатков с высоким содержанием азота (высокая концентрация бобовых в севооборотах), биологических стимуляторов, отходов промышленности, содержащих азот или ростовые вещества, бактериального удобрения азотогена и т. д. Регуляция продолжительности иммобилизации азота повысит эффективность азотных минеральных удобрений.

В осенний период, когда на почве отсутствует растительный покров и потребность культурных растений в усвояемых питательных веществах низкая, активизация микрофлоры, совершающей иммобилизацию, — необходимый прием, предохраняющий усвояемые питательные вещества от вымывания. Внесение соломы или заплата растительных остатков, бедных азотом, позволяет сохранить усвояемый азот от вымывания и газообразных потерь.

Влияние чередования культур на состав микрофлоры

Возделывание предшествующей культуры — не только средство повышения урожайности основной культуры, но также агротехнический прием по обогащению почвы органическим веществом — основным ис-

точником энергии для развития микрофлоры. Поживные остатки — это практически единственный резерв поддержания и увеличения органического вещества в почвах Болгарии. Влияние поживных остатков на плодородие почв и почвенно-биологические процессы зависит как от количества, так и от их состава — особенно от содержания азота. Заделка растительных остатков после уборки урожая приводит к повышению численности микрофлоры независимо от типа почвы, причем важно установить, какие микроорганизмы развиваются и какие микробиологические процессы активируются. Это зависит в основном от состава и содержания азота в растительных остатках. Так, при наличии бедных азотом растительных остатков активируются процессы, приводящие к снижению количества усвояемого азота. Эти факторы следует учитывать при подборе предшественников и определении доз удобрений.

Причины, которые определяют роль и значение различных предшественников в севообороте, пока недостаточно выяснены. Отрицательное влияние бесменного возделывания пшеницы можно объяснить такими неблагоприятными биологическими факторами, как увеличение в ризосфере пшеницы численности микрофлоры, иммобилизующей азот и другие питательные вещества [67], рост антагонистов полезной микрофлоры в ризосфере монокультуры [2, 54] и др. После продолжительного бесменного возделывания в ризосфере озимой ржи, картофеля и люпина отмечено снижение общей численности микроорганизмов.

Проведенные опыты с различными культурами и предшественниками показали многочисленное влияние чередования культур на сложные биохимические процессы, протекающие в почве, и на взаимоотношения между культурными растениями и почвенными микроорганизмами. При монокультуре пшеницы, например, накапливаются фитотоксичные формы микроорганизмов, вызывающие токсикоз почвы [2, 54].

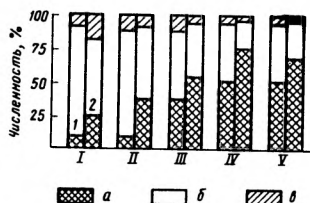
Ризосферная микрофлора различных растений характеризуется специфичностью. В ризосфере пшеницы содержится больше микроорганизмов — антагонистов, чем в ризосфере люцерны, кукурузы и других культур, выращиваемых в тех же условиях. Численность антагонистов азотобактера в ризосфере пшеницы снижается, если эту культуру возделывают при оптимальном применении удобрений.

Численность, состав, активность микроорганизмов в ризосфере пшеницы, ячменя, гороха, сои, льна, подсолнечника, кукурузы и сорго при различном чередовании этих культур различаются. В ризосфере пшеницы при возделывании ее после различных предшественников численность аммонифицирующих бактерий незначительна, главным образом преобладают микроорганизмы, использующие минеральный азот. Наибольшая численность этих групп микроорганизмов — в ризосфере пшеницы при возделывании ее по пару или после гороха. В указанных вариантах был получен самый высокий урожай (рис. 26).

При возделывании ячменя изменения численности и соотношения отдельных групп микроорганизмов под влиянием предшественника и удобрения были незначительными. Численность аммонифицирующих микроорганизмов невысока. Получена прямая корреляция между численностью ризосферной микрофлоры ячменя и урожайностью.

Рис. 26. Влияние различных предшественников на численность бактерий ризосферы пшеницы:

I – монокультура (8 лет); *II* – монокультура (2 года); *III* – подсолнечник; *IV* – горох; *V* – пар; 1 – без удобрений; 2 – NP; *a* – аммонифицирующие бактерии; *б* – бактерии, усваивающие минеральный азот; *в* – актиномицеты.



В ризосфере гороха, возделываемого после различных предшественников, преобладали бактерии, связанные с использованием минерального азота. Это можно объяснить повышенным содержанием азота в корневой массе бобовых культур. После злаковых предшественников в ризосфере гороха отмечалось снижение численности микрофлоры, что, по-видимому, связано с начавшейся биологической иммобилизацией азота.

В ризосфере подсолнечника независимо от предшественника развивалось почти одинаковое количество микрофлоры, использующей органический и минеральный азот. С повышением численности микрофлоры в ризосфере возрастала урожайность подсолнечника. В ризосфере кукурузы под влиянием предшественника изменялась в основном численность аммонифицирующих бактерий. В целом можно сказать, что в ризосфере возделываемых растений подсолнечника, кукурузы и сорго численность аммонифицирующих бактерий выше, чем в ризосфере других культур.

Существенно меняются численность и состав микрофлоры при монокультурном возделывании пшеницы. В ризосфере бесценно возделываемой пшеницы численность бактерий, связанных с иммобилизацией усвояемого азота, выше, чем в ризосфере пшеницы, возделываемой после гороха. Численность и состав ризосферной микрофлоры пшеницы зависит от предшественника в большей степени, чем, например, у пропашных культур. Меняется численность микрофлоры, использующей для своего развития минеральные формы азота. Предшественник в значительной степени определяет интенсивность процессов иммобилизации усвояемого азота. Пропашные предшественники пшеницы усиливают процессы минерализации, а пшеница и ячмень увеличивают численность микроорганизмов, связанной с иммобилизацией усвояемого азота.

Чередуя некоторые технические культуры вызывает изменения активности ризосферной микрофлоры, зависящей от предшественника. Вика и горох в качестве предшественников табака оказывают положительное влияние на его урожай [4]. В ризосфере гороха и вики, выращиваемых в чистых посевах, численность микроорганизмов (кроме бактерий, усваивающих минеральный азот) выше, чем в ризосфере табака, возделываемого после них. Горох как предшественник табака вызывает значительные изменения в соотношении отдельных групп микроорганизмов. Численность бактерий, усваивающих органические и минеральные формы азота, остается довольно высокой, а спорогенных бактерий и актиномицетов снижается. Возрастает численность почвенных микроскопических грибов, главным образом *Penicillium* и *Aspergillus*. В ризосфере табака, возделываемого после гороха, усиливаются процессы минера-

13. Численность микроорганизмов в ризосфере табака, возделываемого при уплотнении севооборота вики, тыс/г почвы

Вариант	Бактерии, усваивающие органический азот	Спорогенные бактерии	Бактерии, усваивающие минеральный азот	Актиномицеты	Грибы	Азотобактер, %
Вика + табак	5,70	390,00	14,67	9,33	56	78
Табак после табака	2,70	1,06	21,50	3,53	70	95

лизации легкоразлагающихся, богатых азотом органических веществ. Урожайность табака в этом случае бывает высокой.

В ризосфере бессменно возделываемого табака численность аммонифицирующих бактерий снижается, что свидетельствует о низком количестве органического азота в этой почве [57]. Отмечено также подавление развития *Az. chroococcum* вследствие возрастания численности его антогониста *B. mesentericus* (свыше 75% от общего числа спорогенных бактерий в ризосфере табака) [4].

Уплотнение табачных севооборотов вики вызывает повышение численности бактерий, усваивающих органический азот, и актиномицетов в ризосфере растений, что показывает на интенсивную минерализацию органических остатков (табл. 13). Несмотря на повышение биогенности почв после введения в севооборот вики, урожайность табака остается низкой, что обусловлено, по-видимому, уплотнением и иссушением почвы, а также накоплением фитотоксичных веществ при интенсивной минерализации и т. д.

В ризосфере сахарной свеклы, возделываемой после различных предшественников, накапливаются бактерии, усваивающие органические формы азота, и бактерии, усваивающие минеральный азот (табл. 14). При бессменном возделывании свеклы увеличивается численность актиномицетов и почвенных микроскопических грибов. При возделывании свеклы после вико-овсяной смеси увеличивается общая численность ризосферной микро-

14. Изменение численности микроорганизмов ризосферы в период интенсивного роста сахарной свеклы, возделываемой после различных предшественников, тыс/г почвы

Предшественник	Бактерии, усваивающие органический азот	Спорогенные бактерии	Бактерии, усваивающие минеральный азот	Актиномицеты	Грибы	Азотобактер, %
Викосмесь	2,10	930	14,00	5,30	70	38
Свекла	3,00	1,03	11,80	6,80	170	57
Хлопчатник	1,60	970	10,40	4,00	80	12
Кукуруза	3,70	700	5,40	1,90	100	53
Пшеница	2,70	1,10	8,00	2,40	90	35
Люцерна	2,90	460	12,90	4,10	50	80

флоры. Почвенная биогенность ризосферы возрастает также после возделывания кукурузы. В этом случае характерными показателями являются относительно низкая численность актиномицетов и существенное увеличение доли бактерий в общем количестве ризосферной микрофлоры. Наиболее низкая биогенность почв отмечена при возделывании свеклы после пшеницы. Люцерна в качестве предшественника сахарной свеклы вызывает увеличение численности микроорганизмов в ризосфере; значительно возрастает количество бактерий, усваивающих минеральные и органические формы азота. В период созревания свеклы и накопления в корнеплодах сахаров численность и состав микрофлоры ризосферы растений, выращиваемых после различных предшественников, существенно не различаются. При монокультурном возделывании **свеклы** в почве непосредственно вблизи корня создаются условия для накопления нетипичных ризосферных микроорганизмов. Таким образом, приведенные данные показывают, что предшественник оказывает большое влияние на ризосферную микрофлору сахарной свеклы.

Проведены исследования по влиянию бессменного возделывания на жизнедеятельность ризосферной и почвенной микрофлоры некоторых овощных культур [37]. При возделывании в монокультуре перца, среднеранних томатов и картофеля в ризосфере растений и в почве снижается численность бактерий, минерализующих органические азотсодержащие соединения. Отмечено также некоторое снижение численности и обеднение видового состава актиномицетов и почвенных микроскопических грибов. Из аспорогенных бактерий на площадях, занятых перцем, в наибольшей степени снижается численность бактерий рода *Pseudomonas*, а из спорогенных — *B. agglomeratus*, *B. cereus*, *B. virgillus*, а увеличивается в основном *B. mesentericus*. Особенно четко отрицательный эффект бессменного возделывания перца сказывается на биологических свойствах почвы. В этом случае агроприемом, благоприятно влияющим на микрофлору ризосферы, является уплотнение севооборота бобовыми культурами.

Бессменное возделывание среднеранних томатов вызывает незначительные изменения численности почвенных микроорганизмов. Тенденция к снижению численности некоторых групп микроорганизмов отмечается при монокультуре картофеля: в ризосфере снижается численность бактерий рода *Pseudomonas*, а возрастает *B. megaterium*, *B. mesentericus*, *B. agglomeratus*. Видовое разнообразие актиномицетов также уменьшается. Увеличивается численность грибов родов *Penicillium* и *Cephalosporum*.

Благоприятное влияние на развитие почвенных микроорганизмов и интенсивность микробиологических процессов оказывает травопольный овощной севооборот. На участках, занятых травяной смесью, активируется развитие бактерий, актиномицетов и почвенных грибов. Увеличение численности почвенной микрофлоры происходит также на участках, занятых перцем после запашки травяной смеси. В весенний период численность микроорганизмов возрастает слабо, в летний — значительно, что вызвано главным образом трансформацией органических веществ в почве. Травяные смеси активируют также развитие аммонифицирующих бактерий, причем запашка травяной массы или пожнивных остатков приводит еще к более бурному развитию этих бактерий. Весной увеличивается числен-

ность аспорогенных аммонифицирующих бактерий семейств Pseudomonasaceae и Bacteriaceae, интенсивно разлагающих легкоусвояемые азотсодержащие вещества. Летом активируются аммонифицирующие спорогенные формы, вызывающие минерализацию труднодоступных азотсодержащих органических веществ. Увеличение численности *B. megaterium* свидетельствует о благоприятном режиме в почве.

Такие приемы, как возделывание трав и внесение навоза в севообороте овощных культур, усиливают нитрификацию, особенно в летние и осенние месяцы. После распашки травяного пласта нитрифицирующая активность почвы бывает очень высокой. Благоприятное воздействие на развитие азотобактера в почве оказывают многолетние бобово-злаковые травосмеси, при возделывании которых снижается численность антагонистов азотобактера и увеличивается численность микроорганизмов, положительно влияющих на его развитие. Аналогично травосмесям положительное влияние на микрофлору оказывают однолетние бобовые культуры — фасоль и горох.

Чередование культур следует рассматривать как прием, регулирующий интенсивность и направленность биологических процессов в почве. Севооборот — не просто набор культур, переносящих или не переносящих друг друга, а средство регулирования и оптимизации биологических свойств почвы. Регулирование микробиологических процессов в почве — это важный резерв повышения ее плодородия.

В заключение следует отметить, что для повышения почвенного плодородия необходимо в течение вегетационного периода использовать приемы, активизирующие процессы минерализации, в результате которых используется часть иммобилизованного азота, представляющего собой большую часть азота удобрений, включенного в микробную массу. Осенью и зимой требуется применять приемы, активизирующие иммобилизацию усвояемых питательных веществ в почве, тем самым предохраняя их от вымывания. При этом для каждого конкретных почвенных условий желательно подбирать соответствующие приемы — удобрение, орошение, чередование культур и т. д. Возможность практического регулирования биологических свойств почвы позволяет экономить средства и повышать урожайность; кроме того, оптимальные биологические процессы способствуют обогащению почвы усвояемыми питательными веществами и улучшению питания растений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Александрова В. Г. Силикатные бактерии. М., 1953.
2. Алтимирска Р. Микрофлората като фактор при монокултурното отглеждане на пшеницата. Дисертация, С., 1977.
3. Ампова Г. Български тютюн, 12, 1968.
4. Ампова Г. Влияние на някои пестициди върху почвената и ризосферна микрофлора при тютюна. Дисертация, С., 1971.
5. Ампова Г., К. Арсов. Влияние на химизацията в селското стопанство върху микробиологичните процеси в почвата. Научна конференция, ЦНТИ по селско и горско стопанство, С., 1972.
6. Ампова Г., Д. Стефанов. Научни тр., ИТТИ, Пловдив, 5, 1975.
7. Ампова Г., Р. Кондарев. Почвознание и агрохимия, 2, 1976.
8. Ампова Г. Български тютюн, 4, 1976.
9. Ампова Г., Д. Стефанов, А. Димитров. Сб. "IV конгрес по микробиология", С., 1978.
10. Ампова Г., А. Вартанян, П. Петров. Трансформация азота в почве и ефективност азотных удобрений. V международная конференция, С., 1979.
11. Аристовская Т. В., Р. С. Кутузов. Почвоведение, 12, 1968.
12. Аристовская Т. В. Микробиология процессов почвообразования. Л., 1980.
13. Альтрен Д., Г. Клигмэн, Д. Волф. Борьба с сорными растениями. М., 1953.
14. Бакаливанов Д. Влияние на химизацията в селското стопанство върху микробиологичните процеси в почвата. Научна конференция по селско и горско стопанство, С., 1972.
15. Бакаливанов Д. Почвено-биологични аспекти на замърсяването с хербициди. Дисертация. С., 1981.
16. Баранов П. А. Жидкие азотные удобрения. М., 1966.
17. Берым Н. Г. Химическая защита растений. Л. М., 1971.
18. Быбалькина А. В., Е. В. Кононенко. Микроорганизмы и органическое вещество почв. АН СССР, 1961.
19. Вавуло Ф. П., Л. А. Карагина. Сб. Роль микроорганизмов в питании растений и плодородии почвы. Минск, 1969.
20. Велев Б. Градинарска и лозарска наука. 3, 1968.
21. Виноградский С. Н. Микробиология почвы. АН СССР, 1952.
22. Войнова-Райкова Ж. Азотобактер в почвите на България. БАН, С., 1960.
23. Войнова-Райкова Ж. Изв. И-т "Н. Пушкиров", 7, 1963.
24. Войнова-Райкова Ж. Селскостопанска наука, 2, 1965.
25. Войнова Ж. Почвознание и агрохимия, 5, 1969.
26. Войнова Ж. Влияние на химизацията в селското стопанство върху микробиологичните процеси в почвата. Научна конференция, ЦНТИ по сел. и гор. стопанство, С., 1972.
27. Войнова-Райкова Ж. Микрофлора, свързана с азота в почвата. С., Земиздат, 1977.
28. Войнова Ж., Е. Лехова. Почвознание и агрохимия, 6, 1979.
29. Войнова Ж., К. Дойнов. Почвознание и агрохимия, 1, 1980.
30. Войнова-Райкова Ж. Микрофлора, свързана с азота в почвата. Дисертация, С., 1978.
31. Войнова Ж., А. Талева, А. Димитрова. III национална конференция по почвознание. С., 1981.
32. Вопросы численности биомассы и продуктивности почвенных микроорганизмов. Л. "Наука", 1972.
33. Геллер И. А., Е. Г. Харитон. Микробиология, XXX, 1961.
34. Гушеров Г. Азотобактер в почвите на тютюневи полета в България. Дисертация, С., 1953.
35. Гушеров Г. Микробиология. С., 1969.

36. Джордан Д., М. Гарсия, Ж. Гаррард. Сб. IX международный конгресс по микробиологии. М., 1966.
37. Димитров Г., В. Ранков. Почвоведение и агрохимия, 4, 1966.
38. Динчев Д. Научни тр. на НИИ за почвени изследвания "Н. Пушкиров", С., 1957.
39. Звягинцев Д. Г. Методы почвенной микробиологии и биохимии. МГУ, 1980.
40. Запазване и повишаване на почвеното плодородие (сборник). Земиздат, С., 1974.
41. Иванова Б. Асоциации микроорганизмов, участвующих в синтезе и минерализации гумусовых веществ при разложении соломы. Диссертация, С., 1976.
42. Имшенецкий А. А. Микробиология целлюлозы. АН СССР, 1951.
43. Калинин Ф. Л., Ю. Г. Мержанский. Регуляторы роста растений. АН УССР, Киев, 1965.
44. Кононова М. М. Органическое вещество почвы. АН СССР, 1963.
45. Кононова М. М. и др. Почвоведение, 10, 1969.
46. Костычев С., А. Шелоумова, И. Шульгина. Труды Отд. с.-х. микробиология, Гос. института опытной агрономии, 1, 1926.
47. Красильников Н. А. Микроорганизмы почвы и высшие растения. АН СССР, 1958.
48. Красильников Н. А. Микроорганизмы в сельском хозяйстве. М., 1979.
49. Кутузова Р. С. Почвоведение, 2, 1973.
50. Легг С. О. Известия ТСХА, 1, 1966.
51. Майер-Боден. Остатки пестицидов (инсектициды). М., 1966.
52. Макаров Б. Н. Агрохимия, 12, 1969.
53. Макрей А., М. Александер. Сельское хозяйство за рубежом, 2, 1966.
54. Макарова Я. Влияние на монокультурното отглеждане на пшеницата и ечемика на биологическата активност на почвата. Диссертация, С., 1968.
55. Мельников Н. Н. Химия и технология пестицидов. М., 1974.
56. Мереник Г. В., М. И. Торнов. Действия пестицидов на микроорганизмы, Кишинев, 1972.
57. Милянчев Ив., Г. Ампова, Н. Донов. Български тютюн, 3, 1969.
58. Мишустин Е. Н. Микробиология, XVIII, М., 1948.
59. Мишустин Е. Н. Микроорганизмы и плодородие почвы. АН СССР, 1956.
60. Мишустин Е. Н. Известия АН СССР. Серия биологическая, 2, 1964.
61. Мишустин Е. Н., А. Хаким, Д. Легг и др. Известия ТСХА, 3, 1965.
62. Мишустин Е. Н. Влияние на химизацията в селското стопанство върху микробиологичните процеси в почвата. Научна конференция, ЦНТИ по сел. и гор. стопанство, С., 1972.
63. Мишустин Е. Н., В. К. Шильникова. Биологическая фиксация атмосферного азота. М., 1968.
64. Мишустин Е. Н., В. Т. Емцев. Микробиология. М., "Колос", 1978.
65. Мицковски М. Год. збор. на Земедельско шумарскиот факт на Университетот, VI-VII, Скопие, 1952-1954.
66. Муромцев Г. С. Агробиология. М., 1957.
67. Муромцев Г. С., О. А. Берестецкий. Микробиология, 5, 1979.
68. Никитин Д. И., Э. С. Никитина. Процессы самоочищения окружающей среды и паразиты бактерий. М., 1978.
69. Николов И., Д. Бакаливанов. Научни трудове "ВСИ" "В. Коларов", Пловдив, 1968.
70. Непомилуев В. Ф., С. И. Бебин, Т. И. Кузякина. Известия ТСХА, 4, 1966.
71. Новак Б. Влияние на химизацията в селското стопанство върху микро-

биологичните процеси в почвата. Научна конференция, ЦНТИ по сел. и гор. стопанство, С., 1972.

72. Пейве Я. В. Биохимия почв. М., 1971.

73. Петербургский А. В., А. В. Постников. Концентрированные минеральные удобрения. М., 1969.

74. Пешаков Г. Лозарство и винарство, 5, 1961.

75. Пешаков Г., Е. Райков, Д. Цветанов. Почвознание и агрохимия, 6, 1969.

76. Пешаков Г. и др. Сб. Влияние химизацията в селското стопанство върху микробиологичните процеси в почвата. Научна конференция, ЦНТИ по сел. и гор. стопанство, С., 1972.

77. Пешаков Г., В. Тодоров, Г. Стоилов. Научна конференция ЦНТИ по сел. и гор. стопанство, С., 1972.

78. Покорна-Козова Я. Научна конференция, ЦНТИ по сел. и гор. стопанство, С., 1972.

79. Пономарева А. Т. Фосфорные удобрения. Алма-Ата, 1970.

80. Пошон Ж., Г. Баржак. Почвенная микробиология. М., 1960.

81. Прянишников Д. Н. Агрохимия. С., 1946.

82. Радучев Ст., Кр. Ризванов. Микробиология. С., 1972.

83. Ранков В. Известия на ЦНИИ по почвознание и агротехника "Н. Пушкин", IV, 1962.

84. Ранков В. и др. Агрохимия, АН СССР, 4, 1966.

85. Ранков В., Е. Еленков, Б. Велев. Растениевъдни науки, 8, 1965.

86. Ранков В., Е. Еленков. Почвознание и агрохимия, 2, 1970.

87. Ранков В. Почвознание и агрохимия, 5, 1970.

88. Ранков В. Почвознание и агрохимия, 1, 1973.

89. Ранков В. Почвознание и агрохимия, 6, 1972.

90. Ранков В., Г. Димитров. Почвознание и агрохимия, 2, 1971.

91. Ранков В., Г. Димитров. Почвознание и агрохимия, 4, 1975.

92. Ризванов Кр., Н. Тосков, Й. Цирков. Микробиология. С., 1981.

93. Сапожников Н. А. Азот в земледелии нечерноземной полосы, Л., "Колос", 1973.

94. Станчев Л. и др. Агрохимия, Пловдив, 1971.

95. Стефанов Д. Растителна защита, 12, 1972.

96. Тарвис Т. В. Вопросы численности биомассы и продуктивности почвенных микроорганизмов, Сб., Л., 1972.

97. Тосков Н. и др. Химизация на селското стопанство и микробиологичните процеси в почвата. Пловдив, 1973.

98. Теппер Т. Ф. Доклады ТСХА, и вып. VIII, 1949.

99. Тимирязев К. А. Избранные сочинения. М., Сельхозгиз, 1949.

100. Топчиева-Колчева Б. Микробиологическа характеристика на главните почвени типове в България. Дисертация, С., 1954.

101. Турчин Ф. В. Агрохимия. З., 1964.

102. Фетаджиева Н. А. Борьба с плеселите. С., Земиздат, 1973.

103. Цирков Й. Влияние на някои инсектициди върху почвената микрофлора. Дисертация, Пловдив, 1969.

104. Штина З. А. Труды Кировского с.-х. института, XII, вып. 24, 1957.

105. Introduction to soil microbiology, N. Y., 1967.

106. Амрова Г., А. Vartanyan. The Interaction of soil microflora and environmental pollution, vol. I., Pulawy, 1977.

107. Audus L. J. Pl. Soil, No. 2, 1949.

108. Audus L. J. Herbicides and the Soil, Blackwell, Oxford, 1960.

109. Audus L. J. Herbicide behaviour in the soil. The physiology and biochemistry of herbicides. Ac. press., L., N. Y., 1964.

110. Beck T. Mikrobiologie des Bodens, München, Wien, 1968.

111. Bozurth G. A., H. H. Bunderbum, E. A. Curl. Weed Soc., Am. Alstr., 1966.

112. Burges A., F. Raw. Soil Biology, Ac. Press, L., N. Y., 1967.

113. Burnside O. C., G. A. Wicks, C. R. Fenster. Weeds. No 13, 1965.
114. Day B. E., Z. S. Jordan, R. T. Hendrixon. Weeds, No. 9, 1963.
115. Domsch K. H. Mitt. biol. Bundesamt für Land – und Forstwirtschaft, Berlin – Dahlem, 1963.
116. Fletscher W. W. Herbicides and the soil, Blackwell, Oxford, 1960.
117. Fletscher W. W., J. F. Smith. Proc. 7th Brit. Weed Control Conf., 1964.
118. Gant J. K., W. C. Evans. Biochem. J., No. 79, 1961.
119. Gull W. et al. – Agric. Food Chem., 15, 6, 1967.
120. Guillemat J., M. Charpentier, P. Jardicux, J. Pochou, Annis Epiphy, No. 11, 1969.
121. Hamdy Y., S. Teufik-Mohamed. Acta microbiologica Polonica, ser. B., vol. XVIII, No. 2, 1969.
122. Hill G. D. Proceedings Southern Weed Conf., No. 7, 1954.
123. Hill G. D., J. W. Megahan, H. M. Baker, D. W. Finerty, C. W. Bingem. Agron. J., No. 47, 1955.
124. Hirsch P., M. Alexander. Can. J. Microbiol., No. 5, 1960.
125. Kaufmann D. D., P. C. Appe. Microbiol., No. 13, 1965.
126. Kearney P. C., D. D. Kaufmann, M. Alexander. Soil Biochem., N. Y., 1967.
127. Keckes et al. – IV Congress of Bulg. Microbiol, Sofia, 1977.
128. Lichtenstein E. P., K. R. Schultz. J. Econ. Ent., 53, 1960.
129. Martin J. P. Res. Rev., 4, 1963.
130. Parkinson D. Consumption and decomposition of organic residues in soil, Colorado, 1977.
131. Pochon J., Tardieux P., Charpentier M. C. R. Acad. Sci. (P.), 250, 1960.
132. Porter J. K. Soil Sci. Soc., Amer. Proc., 33, 1969.
133. Rankov V. Compres rendus de L'Academie Bulgare des Sciences, 21, 10, 1968.
134. Stanek M. Slomsl. Anud. Zemedel., ved. rost., vyr. 4, 1958.
135. Szeinbrenner K., Fr. Naglitsch, I. Schlicht. Agrobiologie, 6, 1961.
136. Swezey A. W., G. O. Turner. Agron. J., No. 37, 1961.
137. Waksman S. A. Soil Microbiology, John Wiley, New York, 1961.
138. Yull W. et al., J. Agron. Food Chem., 15, 6, 1967.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие к русскому изданию	3
Введение	4
Почва — среда для развития микроорганизмов	6
Распространение микроорганизмов в почве	10
Бактерии	11
Актиномицеты	11
Грибы	12
Водоросли	12
Вирусы и фаги	13
Микрофлора и микробиологические процессы в почвах Болгарии	15
Бактерии, актиномицеты и грибы	16
Бактериальная биомасса	20
Аммонифицирующая и нитрифицирующая активность почв	21
Микроорганизмы, участвующие в разложении целлюлозы в почве	24
Микроорганизмы, участвующие в синтезе и разложении гумуса	25
Азотфиксирующие бактерии	28
Свободноживущие азотфиксаторы	28
Клубеньковые бактерии	29
Микроорганизмы, участвующие в превращениях серы, железа, фосфора и других элементов	30
Серобактерии	30
Железобактерии	31
Микроорганизмы, окисляющие марганец	31
Микроорганизмы, участвующие в превращениях фосфора	31
Микроорганизмы, участвующие в деструкции минералов, процессах оглеения, образования минералов	32
Взаимоотношения между почвенными микроорганизмами и растениями	33
Изменение почвенной микрофлоры при внесении удобрений	41
Влияние различных видов и доз удобрений на микрофлору почвы	43
Азотные удобрения	43
Фосфорные удобрения	44
Калийные удобрения	46
Влияние удобрений на микрофлору некоторых почв Болгарии	47
Карбонатные, типичные и выщелоченные черноземы	47
Серые лесные почвы	51
Смолницы	52
Коричневые лесные почвы	53
Бурые лесные почвы	54
Участие микрофлоры в минерализации карбамида	55
Влияние удобрений на ферментативную активность почв	57
Биологическая иммобилизация азота при внесении удобрений	58
Потери газообразного азота	62
Влажность почвы и применение удобрений	65
Температура почвы и применение удобрений	68
Органические остатки и внесение удобрений	72
Влияние гербицидов на микрофлору и микробиологические процессы в почве	76
Участие микрофлоры в детоксикации гербицидов	89
Влияние инсектицидов на микрофлору и микробиологические процессы в почве	92
Участие микрофлоры в детоксикации инсектицидов	94
Влияние фунгицидов на микрофлору	95
Влияние нематоцидов на микрофлору	99

Приемы регулирования биологической активности почвы	102
Изменение состава и численности микроорганизмов на низкопродуктивных почвах	102
Влияние органических удобрений и органических остатков на микрофлору почвы	104
Регулирование процессов нитрификации, денитрификации и иммобилизации	105
Влияние чередования культур на состав микрофлоры	107
Литература	113

Ж. Войнова-Райкова, В. Ранков, Г. Ампова

МИКРООРГАНИЗМЫ И ПЛОДОРДИЕ

Зав. редакцией В.Е. Машковский

Редактор Н.К. Смирнова

Художник Л.Ч. Гоцлавский

Художественный редактор С.В. Аладьев

Технические редакторы Т. В. Мындру, М. Б. Терентьева

Корректор В. А. Лебедева

ИБ № 4298

Подписано в печать 17.02.86. Формат 60 × 90¹/₁₆. Бумага офсетная № 1. Печать офсетная. Гарнитура Пресс-Роман. Усл. п. л. 7,5. Усл. кр. - отт. 7,75. Уч.-изд. л. 9,24. Изд. № 268. Тираж 3000 экз. Заказ 622 Цена 1 р. 40 к.

Ордена Трудового Красного Знамени ВО "Агропромиздат", 107807, ГСП, Москва, Б-53, ул. Садовая-Спасская, 18.

Типография № 9 Союзполиграфпрома Государственного комитета СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли, 109033, Москва, Волочаевская, 40.



В почве практически нет процесса, в котором микроорганизмы не принимали бы активного участия. Антропогенное влияние на почву особенно возрастает в интенсивном земледелии, когда изменяются питательный, воздушный и водный режимы. Необходимость изучения этих изменений связана с вопросами сохранения и повышения почвенного плодородия. Микроорганизмы можно использовать в качестве показателя для определения направлений течения различных процессов в почве.